



**Bachelorarbeit des Studiengangs  
Augenoptik und Hörakustik**

---

# **Reaktion moderner Hörsysteme auf die Signale der Lautheitsskalierung**

Zugelassene Abschlussarbeit des Studiengangs Augenoptik und Hörakustik  
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

vorgelegt von  
**Kazunori Tsuji**

Tag der Einreichung:

09.01.2017

Erstbetreuer: Prof. Dr. Steffen Kreikemeier

Zweitbetreuer: B.Sc. Bernhard Buschle

**Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen meiner Arbeit sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **Kurzfassung**

Die Lautheitsskalierung verwendet sowohl Schmalband- als auch Breitbandsignale. Funktionselemente wie beispielsweise die Störschallunterdrückung reagieren auf Rauschen und reduzieren die Verstärkung. Das Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, wie Hörsysteme und ihre Funktionselemente auf schmalbandige Testsignale bei entsprechenden Frequenzen und Pegeln reagieren. Es wurden vier Hörsysteme von zwei Herstellern, je ein High- und ein Low-End-Gerät, untersucht, die mit drei Konfigurationen der Funktionselemente ausgestattet waren, nämlich AUS (Adaptive Funktionselemente ausgeschaltet), AN (vom Hersteller empfohlene Einstellung der Funktionselemente) und SU (nur Störschallunterdrückung aktiviert). Bei fünf Frequenzen und sechs Eingangspegeln wurde das Verhalten der Hörsysteme auf Terzbandrauschen gemessen. Anhand des Zeitverlaufs der Ausgangspegel ließ sich die Reduktion des Ausgangsschalldruckpegels errechnen. Dabei wurden Anfangs- und Endpunkt der Änderung gemessen und die Ausgangspegel mit und ohne Funktionselementen bei 2 Sekunden (s) verglichen. Jedes Hörsystem reduzierte den Ausgangspegel, abhängig von Eingangspegel und eventuell Frequenz. Bei Phonak reduzierten die Funktionselemente die Ausgangspegel bei 2 s nicht, bei Siemens allerdings reduzierten sie diese bei einigen Messungen um einige Dezibel. Als Schlussfolgerung ergibt sich, dass Hörsysteme auf Signale der Lautheitsskalierung unterschiedlich reagieren und dass Funktionselemente und Signaleigenschaften, und zwar Frequenz und Eingangspegel, eine wichtige Rolle für ihre Reaktion spielen.

## Abstract

The Loudness scaling uses both narrowband and broadband signals. Adaptive features, such as digital noise reduction, react to noise and reduce its amplification. Reaction of hearing aids to frequency-specific signals are unknown. The goal of this study is to better understand the reaction of hearing aids and their features to narrowband test signal at each frequency and level. Four hearing aids from two manufacturers were tested. Two high-end and two low-end devices were selected, which were equipped with three programs, namely OFF (adaptive features off), ON (the features-setting recommended by the manufacturer) and SU (only noise reduction enabled). The tests measured the response of the output level for third octave band noise at five frequencies and six input levels. Furthermore, from the measured output level, the starting and ending point of the changing and the amount of gain reduction are calculated. Additionally, the output levels, with and without functional elements at 2 seconds (s), were compared to examine the effect of features at loudness scaling. This study reveals that each hearing system reduced the output level, depending on input level. The reduction of three hearing aids depended on frequency. With Phonak, the functional elements reduced the output level by 2 s but with Siemens however, they were reduced by several decibel. This study concludes that hearing aids react to signals of loudness scaling differently and that the adaptive features and signal characteristics, namely frequency and input level, play an important role to their reaction.

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt bei dem freundlichen Betreuer dieser Bachelorarbeit, Herr Prof. Dr. Kreikemeier, von dem Studiengang Augenoptik und Hörakustik an der Hochschule Aalen, für seine umfangreiche und fachliche Unterstützung.

Danken möchte ich herzlich Herrn B.Sc. Bernhard Buschle, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Hochschule Aalen, für seine konstruktive Tipps und freundliche Hilfe in Bezug auf die Ausstattungen mit benötigten Materialien.

Zudem gilt mein Dank meinen Freunden, den Mitarbeitern/-innen und den Professoren/-innen an der Hochschule Aalen, die mein Studium motiviert und mich ebenfalls unterstützte.

Am Schluss möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir durch ihre Unterstützung mein Studium ermöglicht.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Erklärung.....</b>	<b>I</b>
<b>Kurzfassung.....</b>	<b>II</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>III</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>IV</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Grundlage.....	2
1.2.1 Auditive Wahrnehmung.....	2
1.2.2 Lautheitsskalierung .....	5
1.2.3 Dynamikkompression.....	9
1.2.4 Störschallunterdrückung .....	11
1.2.5 Rückkopplungsunterdrückung .....	14
1.2.6 Weitere Funktionen.....	16
1.3 Ziel der Arbeit.....	17
<b>2 Material und Methoden.....</b>	<b>19</b>
2.1 Testsignale .....	19
2.2 Hörsysteme.....	20
2.3 Versuchsaufbau .....	28
2.4 Messungen und Auswertungen.....	29
2.4.1 Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen .....	32
2.4.2 Auswirkung der Funktionselemente bei Lautheitsskalierungen .....	33
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
3.1 Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen.....	34
3.1.1 Phonak Bolero V90-M .....	34
3.1.2 Phonak Baseo Q15-M .....	44
3.1.3 Siemens Motion SX binax7 .....	54

---

3.1.4	Siemens Sirion 2 M.....	63
3.2	Auswirkung der Funktionselemente bei Lautheitsskalierungen.....	72
3.2.1	Phonak Bolero V90-M .....	72
3.2.2	Phonak Baseo Q15-M .....	74
3.2.3	Siemens Motion SX binax7.....	76
3.2.4	Siemens Sirion 2 M.....	78
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>80</b>
4.1	Überprüfung der Verstärkung bei jeweiligen Testbedingungen.....	80
4.2	Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen.....	81
4.3	Auswirkung der Funktionselemente auf Lautheitsskalierungen.....	93
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick .....</b>	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>106</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>112</b>
<b>9</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>113</b>
<b>Anhang.....</b>		<b>114</b>
A:	Verwendete Software.....	114
B:	Zusammenhang zwischen Eingangspegel und Anfangs- und Endzeit der Reduzierung.....	114

# 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit thematisiert „Reaktion moderner Hörsysteme auf die Signale der Lautheitsskalierung“. Die Lautheitsskalierung ist ein geeignetes Mittel für die Hörsystemversorgung. Aber es ist noch unbekannt, wie adaptive Funktionselemente moderner Hörsysteme auf schmalbandige Testsignale der Lautheitsskalierung reagieren. Ziel dieser Arbeit ist es das Verhalten moderner Hörsysteme bei der Lautheitsskalierung möglichst genau in Details zu erfassen und diese systematisch auszuwerten. Schließlich sollen die Ergebnisse dieser Forschung der Hörsystemversorgung beitragen.

## 1.1 Motivation

Patienten mit gleichem Audiogramm können ein sehr stark unterschiedliches überschwelliges Lautheitsempfinden aufweisen (Launer et al., 1996). Es besteht eine umgekehrte Korrelation zwischen der Zufriedenheit des Hörgeräteträger und der Lautheit. Laute Einstellungen wurden als unangenehm wahrgenommen (Blamey & Martin, 2009). Diese Tatsache ist problematisch, da mehrere Formeln zur Berechnung der Verstärkung der Hörsysteme auf allgemeine Lautheit basieren und nicht einzelne Situationen berücksichtigen, sodass die Präskriptionen nicht von Schwerhörigen angenommen werden und es notwendig ist, die Lautheit zu berücksichtigen (Smeds et al., 2006).

Aus diesen Gründen ist es von Bedeutung, die individuelle Lautheitswahrnehmung zu messen. Die kategoriale Lautheitsskalierung gewann in den letzten Jahren im Bereich der audiologischen Diagnostik erheblich an Bedeutung. Ein großer Vorteil liegt insbesondere in der Einstellung der frequenz- und pegelabhängigen Verstärkung von nichtlinearen Hörgeräten (Wedel et al., 2000).

Nicht nur die Etablierung und die Entwicklung der Lautheitsmessverfahren, sondern auch der technologische Fortschritt der Hörsysteme ist bemerkenswert. Inzwischen haben Hörsysteme mehrere Kanäle, nichtlineare Dynamikkompression, Störschallunterdrückung oder andere Funktionselemente verfügbar (Chang et al., 2008). Solche moderne Technologien ermöglichen es die Verstärkung genauer anzupassen, was dann zu einer höheren Zufriedenheit beitragen kann. (Kochkin, 2005). In der Tat wird



die Verbesserung des Tragekomforts der mit Störschallunterdrückung ausgestatteten Hörsysteme nachgewiesen (Ricketts & Hornsby, 2005).

Die Lautheitsskalierung verwendet als Testsignal unter anderem Schmalbandsignale (DIN ISO 16832:2006). Möglicherweise reagieren die modernen Hörsysteme auf das Testsignal bei Lautheitsskalierung, und das würde dazu führen, dass die Hörsysteme anders reagieren als erwartet.

Als Maßnahme gegen unerwartete Reaktionen können die Funktionselemente ausgeschaltet werden. Allerdings verhalten sich die Hörsysteme dann in der Tragesituation anders als in der Testsituation.

Wenn wir verstehen, wie die modernen Hörsysteme bei der Lautheitsskalierung reagieren und wir damit beide Vorteile, nämlich die Lautheitsskalierung und die modernen Hörsysteme, nutzen können, lässt sich die Lebensqualität der Schwerhörigen deutlich verbessern.

## **1.2 Grundlage**

Dieser Teil widmet sich dem Hintergrund der Hörsystemversorgung und der Grundlagenforschung sowohl der modernen als auch früheren Entwicklung. Die Übersicht über die auditive Wahrnehmung, die Lautheitsskalierung und die Funktion moderner Hörsysteme werden gegeben. Dadurch werden die Kenntnisse aus bisherigen Studien und die noch unbekannte Unklarheit festgestellt.

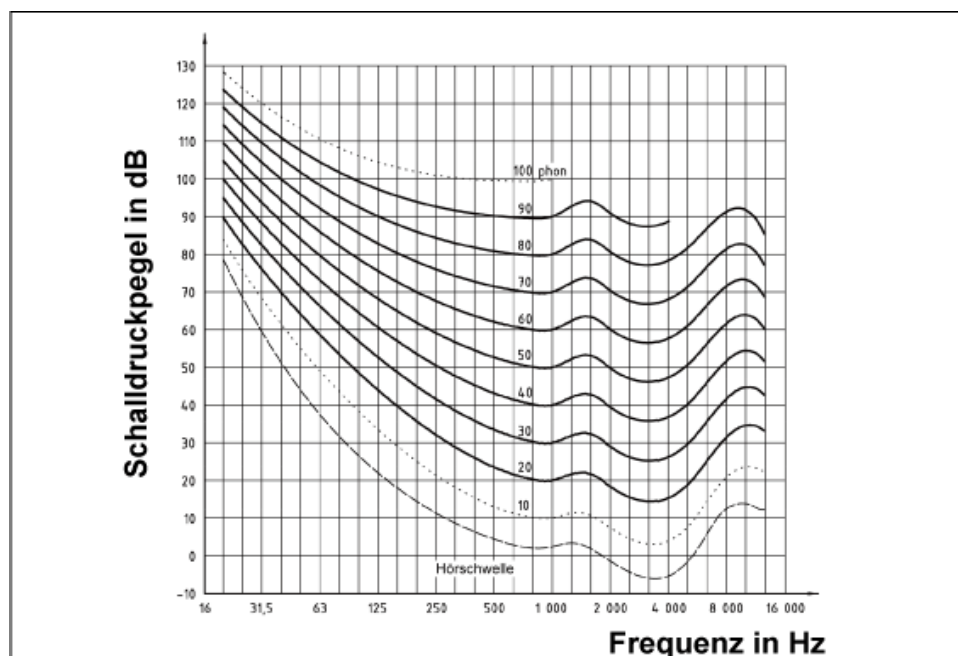
### **1.2.1 Auditive Wahrnehmung**

Die Empfindung der Töne hängt von zahlreichen Faktoren ab. Beispielsweise Frequenzen, Bandbreite, Dauer des Signals beeinflussen die auditive Wahrnehmung (Fastl & Zwicker, 2007). Zur Quantifizierung der Empfindung gibt es ein Begriff „Lautheit“. Die Lautheit wird folgendermaßen erklärt:

*“Die subjektiv empfundene Lautstärke wird Lautheit genannt.“* (Brunner & Nöldeke, 2001, S.56)

Seit vielen Jahren versuchen die Forscher, die objektive Lautstärke und die subjektive Lautheit zu verbinden. Laut dem Experiment von Stevens (1955) ist die Lautheit ( $L$ ) äquivalent zur Konstanten ( $k$ ) multipliziert mit der Lautstärke ( $N$ ) hoch ein Drittel ( $0,3$ ). Wenn man statt Dezibel (dB) dB Sensation Level (SL) nutzt, wird die Lautheit durch die Zunahme der Lautstärke von 10 dB SL etwa verdoppelt, und zwar 1.86 mal (Hellman, 1961).

Abbildung (Abb.) 1 liefert die Normalkurven gleicher Lautstärkepegel (DIN ISO 226:2003). Die Kurven zeigen die Schalldruckpegel in dB, die als gleich laut empfunden werden, die im direkten Verhältnis zur Frequenz stehen. Nach der Norm ist der Schalldruckpegel gleicher Lautstärkepegel nicht für jede Frequenz gleich. Die Tatsache zeigt, dass die Lautstärkewahrnehmung von den Frequenzen der Töne abhängen.



**Abbildung 1: Normalkurven gleicher Lautstärkepegel für reine Töne im freien Schallfeld (Eigene Bearbeitung) (DIN ISO 226:2003)**

Es ist auch bekannt, dass die Frequenzgruppenbreite oder auditorische Filter sich auf die Wahrnehmung der Töne auswirken. Die Frequenzgruppenbreite liegt zwischen etwa 100 Herz (Hz) und 500 Hz und hat eine Steigung von 20 % der Frequenz oberhalb der 500 Hz auf der Kurve (Zwicker, 1982). Die Frequenzgruppenbreite ist ähnlich wie die Terzbandbreite (Levitt, 2001). Wenn die Bandbreite des Signals breiter als die Frequenzgruppenbreite ist, empfindet man es lauter trotz gleicher Intensität. Dieses Phänomen wird als Lautheitssummation bezeichnet (Florentine et al., 1987). Bei Menschen mit Cochlea-bedingtem Hörverlust verringert sich der Effekt der Lautheitssummation, obwohl die Frequenzgruppenbreite sich nicht offensichtlich ändert (Bonding, 1979).

Die Dauer des Tons wirkt sich auf unsere Empfindung aus. Die Grenze beträgt 200 Millisekunden (ms). Je länger ein Ton dargeboten wird, desto lauter empfindet man trotz gleicher Lautstärke den Ton. Hierbei handelt um die sogenannte temporale Integration (Roeser et al., 2007). Darüber hinaus beeinflussen andere Faktoren, wie zum Beispiel die Lautstärke, die Einwirkung von temporaler Integration (Buus et al., 1997). Außerdem ist ein größerer Unterschied notwendig, um den Unterschied der Lautstärke zu erkennen, wenn die Dauer bei unterhalb von 250 ms liegt (Florentine et al., 1987).

Die Tonhöhenempfindung basiert auf einem anderen Prinzip. Schallempfindungshörverluste verschlechtern die temporale Auflösung des Hörens und erschweren das Verstehen. Ein weiteres Beispiel ist die Aufwärtmaskierung (engl. Upward spread of masking). Aufgrund der Überlappung der Frequenzbänder maskiert das Rauschen bei tiefer Frequenz das Frequenzband im höheren Bereich. Der maskierte Bereich ist unterschiedlich zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen, infolgedessen verursacht es unterschiedliches Sprachverstehen (Trees & Turner, 1986). Dieser Effekt spielt eine große Rolle nicht nur für die Überlegung der Lautheit, sondern auch für die Entwicklung der Störschallunterdrückung.

Die Cochlea-Schädigung verursacht auch Recruitment. Recruitment ist ein Phänomen, das eine höhere Hörschwelle hat, jedoch die überschwellige Lautstärke als so laut wie Normalhörende empfunden wird. Deswegen bleibt seine Unbehaglichkeitsschwelle bei Menschen mit Recruitment so niedrig wie normal. Das führt dazu, den nutzbaren Dynamikbereich für Hörsystemversorgung zu beschränken (Fowler, 1950).

Noch ein weiterer Einflussfaktor auf die subjektive Hörwahrnehmung besteht, beispielsweise der zeitliche Maskierungseffekt. Außerdem ist es nachgewiesen, dass die kleinste wahrnehmbare Intensitätsänderung 1 dB ist (Kollmeier et al., 2008). Solche umfangreiche Erkenntnisse werden bei der Weiterentwicklung moderner Hörsysteme oder Messmethoden berücksichtigt.

### 1.2.2 Lautheitsskalierung

Die (kategoriale-) Lautheitsskalierung ermittelt die Lautheit dadurch, dass die Probanden mithilfe von Kategorien die Größe einzelner dargebotener Schallreize beurteilen. Mit diesem Test wird in der Regel die frequenzspezifische Lautheit ermittelt. Diese Messmethode ist auch unter den Begriffen Hörfeld-/Hörflächenskalierung oder Hörfeldaudiometrie bekannt (Hellbruck & Moser, 1986).

Abb. 2 stellt ein Beispiel einer Lautheitsskalierung bei 4000 Hz (links) und Antwortmöglichkeiten (rechts) dar. In diesem Beispiel gibt es elf Antwortmöglichkeiten, und zwar sieben Kategorien und fünf zwischenliegende Antwortmöglichkeiten. Die grüne Linie in der linken Grafik zeigt die Lautheitsfunktion der Normalhörenden und die rote Linie mit Kreisen stellt ein Ergebnis einer Lautheitsskalierung dar. Aus diesem Ergebnis kann die Lautheitsfunktion eines Probanden erkannt werden. Nämlich empfindet er ein Testsignal von 70 dB Sound Pressure Level (SPL) als sehr leise, und ein Signal bei 80 dB SPL als mittel laut.

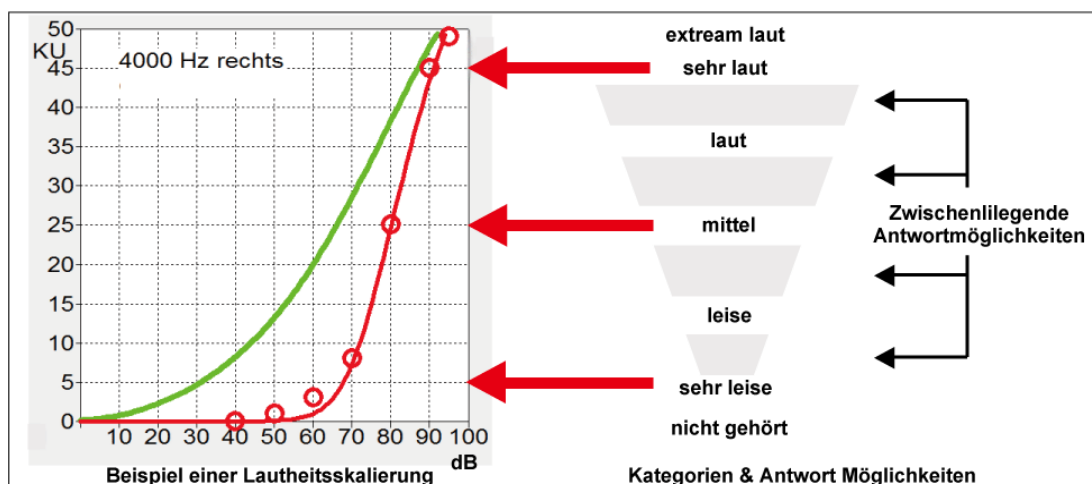


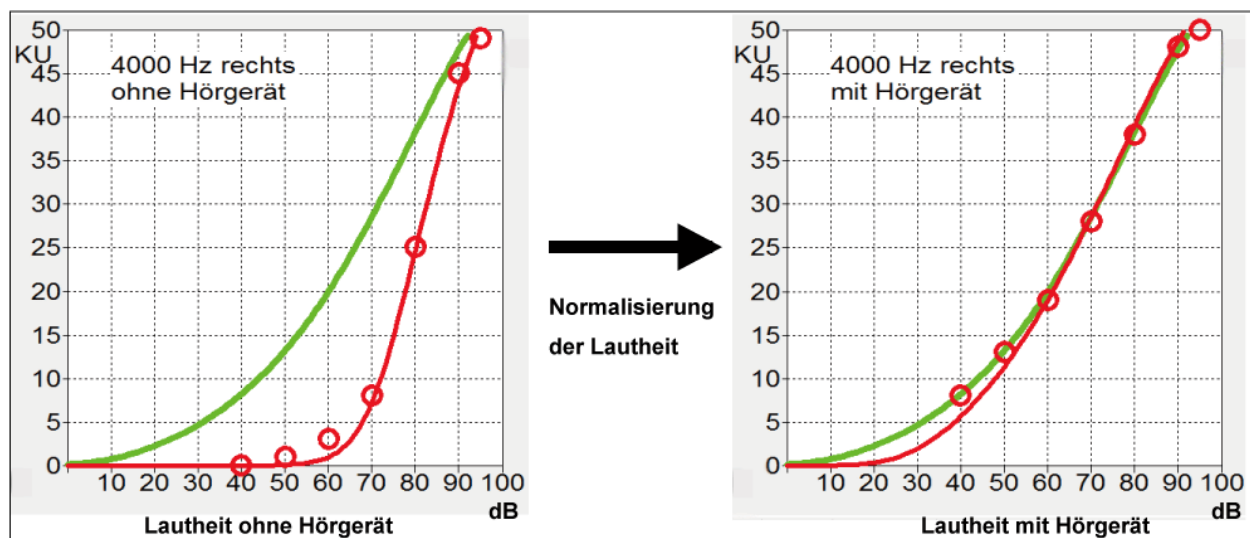
Abbildung 2: Beispiel einer Lautheitsskalierung (links) und elf Antwortmöglichkeiten (rechts)

Die Fachleute sind laut Schorn (2004) der Meinung, dass die Lautheitsskalierung für Hörsystemversorgung unverzichtbar ist. Eine Begründung dafür lag darin, dass die Lautheitsskalierung für verschiedene Anforderungen verwendbar ist. Unsere Wahrnehmung ist abhängig von mehreren Faktoren (siehe Kapitel 1.2.1). Außerdem zeigt die Lautheit trotz dem gleichen Hörverlust hohe intersubjektive Differenz (Appell, 2002; Moore, 2013). Deswegen ist es schwierig, nur mit dem Tonaudiogramm die überschwellige Wahrnehmung zu erfassen. Dabei ist die Lautheitsskalierung zur Schätzung der überschwelligen Parameter effektiv (Jurgens et al., 2011). Als Beispiel kann man damit Recruitment zuverlässig quantifizieren (Al-Salim et al., 2010; Schubert et al., 1996). Ferner ist die Lautheitsskalierung eine Messmethode der Hyperakusis (Tyler, 2003). Im Gegensatz zum Fowler-Test ist die Lautheitsskalierung nicht darauf angewiesen, dass ein Ohr gesund ist (Kießling, 2004). Darüber hinaus ist die Lautheitsskalierung eine zusätzliche Möglichkeit zur Beurteilung des Hörens der Menschen mit retrocochleärer Läsionen (Nieschalk et al., 1999). Ein weiterer Vorteil der Anwendung der Lautheitsskalierung der Hörsystemversorgung liegt darin, dass man damit die Genauigkeit der Tonaudiogramme überprüfen kann (Kinkel, 2002). Weiterhin ist die Lautheitsskalierung geeignet für die Verifikation der Anpassung (Uwe & Schorn, 1999). Zudem ist es zweckmäßig, diesen Test zur Anpassung der nichtlinearen Hörsysteme anzuwenden (Robinson & Gatehouse, 1996).

Bei der Verwendung der Lautheitsskalierung für die Hörsystemanpassung setzt es sich oft zum Ziel, die Lautheit zu normalisieren. Zur Normalisierung der Lautheitswahrnehmung gibt es verschiedene Methoden. Prinzipiell wird die pegelabhängige Verstärkung oder Kompression anhand der Lautheitsskalierung gesammelten Daten für jede Frequenz in den Normalbereich transformiert (Lehnhardt & Laszig, 2009). Ein Vorteil der auf der Lautheit basierenden Anpassungen liegt darin, die individuelle Wahrnehmung zu berücksichtigen (Kießling, 2001).

Abb. 3 stellt ein Beispiel der Normalisierung der Lautheitswahrnehmung bei 4000 Hz dar. Die Y-Achse zeigt die Lautheit eines Probanden in Kategorien. Die X-Achse zeigt den Pegel in dB. Die rote Linie mit den Kreisen stellt die Lautheit eines Probanden und die grüne Linie zeigt die Zielkurve, die die Lautheit der Normalhörenden ist. Die Grafik stellt dar, dass ein Proband ohne Hörgerät (links, rote Linie mit Kreisen) den mittleren Pegel leiser wahrnimmt als Normalhörende. Aber die Lautheit des Probanden mit dem

angepassten Hörgerät ist genauso wie Normalhörenden, und zwar liegt die rote Linie auf der grünen Linie (rechts).



**Abbildung 3: Beispiel „Normalisierung der Lautheitswahrnehmung“: Die Lautheit von Probanden (rote Linie mit Kreise) und Zielkurve (grüne Linie) ohne (links) und mit (rechts) Hörgerät.**

Um die Lautheit effektiv zu messen und um die Vorteile des Messverfahrens auszunützen, verbessert sich die Lautheitsskalierung. Früher kritisierte Elberling (1999) den Vielfalt der diversen Messverfahren, da es schwierig war, die stark schwankenden Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Später jedoch wurde die Lautheitsskalierung genormt. Dadurch wurde die Kritik widerlegt (Brand, 2007).

Die Norm der Lautheitsskalierung, DIN ISO 16832: 2006, bestimmt die Signalarten, die Signaldauer, die bevorzugte Mittenfrequenz des Testsignals und andere wichtige Bedingungen. In Tabelle 1 werden relevante Aspekte zur Durchführung der Lautheitsskalierung nach DIN ISO 16832: 2006 zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht der Bestimmung nach DIN ISO 16832:2006.

Aspekte	Bestimmung nach DIN ISO 16832
Anzahl der Antwort-Kategorien	mindestens 11 (verbal, numerisch oder symbolisch möglich)
Anzahl der angebotenen Stimulus-pegel pro Frequenz	mindestens 5 und Sie sollen den gesamten Dynamikbereich abdecken.
Abfolge der Stimuluspegel	pseudo-zufällig (zwei aufeinanderfolgende Signale deutlich unterschiedlich)
Verwürfelung der Stimulus-frequenzen oder der Darbietungsseite (links/rechts)	Die Signale müssen so verschieden wie möglich sein, ohne die Versuchsperson zu verwirren. (zum Beispiel durch Variation von Pegel und/oder Frequenz)
Messfrequenzen	mindestens 4 verschiedene Mittenfrequenzen, bevorzugte Standard-Mittenfrequenzen sind 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz
Signalarten	Schmalbandsignalen einschließlich Rauschen und Wobbeltöne. Bandbreite Maximum Dritteloktave
Signaldauer	mindestens 1 s

Dank der Standardisierung etabliert sich die Lautheitsskalierung immer mehr in der Praxis. Laut einer Studie von Jesteadt und Joshi (2013) ist die Lautheitsskalierung „Adaptive Categorical Loudness Scaling (ACALOS)“ im Vergleich zu den anderen Verfahren am verlässlichsten. ACALOS wurde von Brand und Hohmann (2002) entwickelt. Mithilfe von ACALOS kann man ohne einer Vormessung den individuellen Dynamikbereich messen. Bei der Studie stellte man die Lautstärke des Terzbandrauschens, dessen Dauer 2 s betrug, ein, und die Anzahl der angebotenen Stimuluspegel pro Frequenz war zwei. Dabei beträgt die Zeitspanne zwischen Testsignalen 1 s. Das Verfahren ist bekannt für die Verlässlichkeit und für die Gewinnung von Zeit. Bei ihrer Studie wurde auch diskutiert, dass die Signaldauer von 2 s auf 1 s verkürzt oder, dass die Anzahl der angebotenen Stimuluspegel pro Frequenz sich von zweimal auf einmal verringert, um die Prüfungsdauer zu verkürzen.

Zwar sind verschiedene Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden, wie beispielsweise das Signaldauer oder das modulierte Testsignal. Um die Hörgeräteanpassung überprüfen zu können, benutzt ihre neue Würzburger Hörfeld Audiometrie ein 4 Hz amplitudenmoduliertes Terzrauschen (Müller-Kortkamp & Moser, 2006). Trotzdem sind die verfügbaren Möglichkeiten aus Zweckmäßigkeitsgründen eingeschränkt. Zum Beispiel wird die Verwendung von Schmalbandsignalen empfohlen, um die frequenzspezifische individuelle Lautheit zu erkennen. Es stellt sich das Problem, dass die Schmalbandsignale bei der Hörsystemversorgung die Funktionselemente der Hörsysteme beeinflussen könnten. Das würde zur unerwarteten Reaktion der Hörgeräte führen. Daher sollten die Signalverarbeitungsalgorithmen bei dem Hörgerät bei der Lautheitsskalierung ausgeschaltet werden (Kollmeier et al., 2008).

Es ist zweifellos, trotz der Existenz einiger Schwierigkeiten, dass Lautheitsskalierungen eine wirksame Methode zur Diagnostik und zur Hörsystemversorgung sind. Um diese Methode optimal auszunützen, ist es von wesentlicher Bedeutung, die Eigenschaften der Lautheitsskalierung und die begleitende Wirkung auf das Verhalten der Hörsysteme zu erfassen.

### **1.2.3 Dynamikkompression**

Moderne Hörsysteme sind mit einem Kompressionssystem ausgerüstet. Das Kompressionssystem ermöglicht es je nach Eingangs- oder Ausgangsschallpegel die Verstärkung auszugleichen und dadurch die Umweltsignale in den Restdynamikbereich zu übertragen (Maryanne, 2014). Eine Regelung der Kompression, die den Ausgangspegel je nach Eingangspegel steuert, wird als die eingangspegelgesteuerte Regelung (engl. Automatic Gain Control – input controlled: AGCi) bezeichnet. Eine ausgangspegelgesteuerte Regelung (engl. Automatic Gain Control – output controlled: AGCo) bestimmt je nach Ausgangspegel die Verstärkung. Wenn die Verstärkung im Kompressionsbereich konstant ist, wird die Kompression als linear angesehen (Dillon, 2012).

Es ist ein essenzieller Faktor, wie schnell die Kompression auf das Signal reagiert, da das Zeitverhalten die Funktion beeinflusst. Nach DIN EN 60118-2 werden zwei Zeitkonstanten definiert, und zwar Einschwingzeit und Ausschwingzeit. Die



Einschwingzeit ist das Zeitintervall, das den Ausgangspegel dem erhöhten Pegel im eingeschwungenen Zustand bis auf  $2 \pm 0,5$  dB nach dem Pegelsprung am Eingang stabilisiert. Die Ausschwingzeit ist das Zeitintervall, das den Ausgangspegel dem niedrigeren Pegel im eingeschwungenen Zustand wieder bis auf  $2 \pm 0,5$  dB nach dem Pegelsprung am Eingang annähert.

Die Ein- und Ausschwingzeiten werden je nach Zweck der Kompression konfiguriert. Ein Kompressionssystem, die duale Kompression, hat zwei Ziele. Eines ist, dass das Kompressionssystem langsam auf den mittleren Eingangsschall reagiert und die Verstärkung allmählich ausgleicht, daher betragen die Ein- und Ausschwingzeiten der AGCi ca. 0.3 s bis 2 s, zum Teil sogar 12 s. Dazu kommt, dass die duale Kompression zur Vermeidung der unbehaglichen Impulsschalle auf laute Störsignale schnell reagiert. Diese Kombination zweier AGCi wird als duale Kompression bezeichnet (Ulrich & Hoffmann, 2012). Wenn die Restdynamik deutlich begrenzt ist, ist Silbenkompression eine gute Möglichkeit. Dieses Kompressionssystem regelt die Verstärkung innerhalb einer Silbe, also innerhalb von 50 ms, dadurch kann man die Dynamik der Sprache komprimieren und die Pegelschwankungen werden innerhalb von Silben ausgeglichen (Ulrich & Hoffmann, 2011).

Die AGCo komprimiert mit der kurzen Einschwingzeit bei der Kompressionsbegrenzung gegen lauten Schall den Ausgangspegel, um zu vermeiden, dass die Ausgangsschalldrücke die Unbehaglichkeitsschwelle überschreiten (Kollmeier et al., 2008).

Die Kompressionsbegrenzung steuert anhand des Ausgangspegels die Grenze der Ausgangspegel. Auf der anderen Seite ist es bekannt, dass eine Grenze der Dynamik von Eingangspegel existiert. Ein High-End-Gerät von einem Hersteller erzielt die Höchstgrenze von 113 dB SPL. Vergleichsweise haben die gängigen Hörsysteme eine niedrigere Grenze der Eingangspegel, und zwar von 96 dB SPL bis 105 dB SPL. Der Eingangspegel oberhalb der Grenze wird entweder abgeschnitten oder komprimiert (Kuk et al., 2014). Andere Studien berichteten von einer noch niedrigeren Grenze von 100 dB SPL (Baekgaard et al., 2013) oder sogar 90 dB SPL (Chasin, 2003).

### 1.2.4 Störschallunterdrückung

Großer Fortschritt unter den modernen Hörsystemen ist die Störschallunterdrückung. Hintergrundrauschen ist nicht nur lästig, sondern es kontaminiert auch die Sprache und erschwert das Sprachverstehen (Kuk et al., 2015). Diese Funktionselemente unterdrücken den Schall, den die Hörgeräte vorwiegend als Störgeräusch erkennen, dadurch verbessert sich der totale Signal-Rausch-Abstand (engl. signal-to-noise ratio: SNR). Die allgemeinen Ziele der Störschallunterdrückung sind, dass der Komfort sich verbessert und die Vermeidung des Einflusses der Störgeräusche auf die Sprache (Alcantara et al., 2003).

In der Tat wird die Wirksamkeit der Störschallunterdrückung durch umfangreiche Studien nachgewiesen. Einige Studien konnten keine Verbesserung des Sprachverstehens belegen (Hu & Loizou, 2007), aber durch die Störschallunterdrückung die Erhöhung des subjektiven Hörkomforts bestätigen (Boymans & Dreschler, 2000; Nabelek, 2005; Walden et al., 2000). Außerdem kann die Verbesserung des Sprachverständnisses laut anderen Studien unter bestimmten Voraussetzungen gewährleistet werden (Kollmeier & Koch, 1994; Peeters et al., 2009).

Mit der Entwicklung der Wissenschaften existieren verschiedene Algorithmen zur Störschallunterdrückung. Eine konventionelle Methode der Störschallunterdrückung ist eine Filterung des bestimmten Frequenzbereichs. Mithilfe des Hoch-Pass-Filters wird das stationäre Störgeräusch im tiefen Bereich beseitigt. (Levitt, 2001).

Eine vor langer Zeit entwickelte, aber noch verwendete und beliebte Filterungstheorie, ist die Wiener Filterung (Graupe et al., 1987). Unter der Voraussetzung, dass das originale Signal und das gemessene Signal stationär sind, maximiert der Filter theoretische SNR aus den gemessenen Signalen. Ein weiterer Algorithmus wird manchmal mit Wiener-Filter gleichgesetzt. Der heißt „spectral subtraction“. Dieses Verfahren nimmt die kurzfristigen Spektren des Geräuschs zwischen der Sprache auf. Wenn die Sprache erkannt wird, wird sie aus den gesamten Spektren, die aus Sprache und Rauschen bestehen, subtrahiert (Levitt, 2001).

Mittlerweile besteht die Tendenz, dass digitale Hörsysteme durch modulationsbasierende Algorithmen die analog spektral basierenden ersetzen (Bentler & Chiou, 2006). Eine Sprache hat typische Eigenschaften, dass sie niedrigere

„Modulationsfrequenzen“ (Hz) und größere Amplitudenschwankungen „Dynamik“ oder „Modulationstiefe“ (dB) haben. Nämlich wird die Amplitude und Frequenz einer Sprache stärker als die des Lärms moduliert. Das modulationsbasierende Verfahren analysiert die Modulationen der Signale und unterdrückt die Verstärkung in jedem oder in einem bestimmten Kanal, in dem durch Störgeräusch dominiert wird (Schum, 2003).

Die Detektion, die Analyse der Signale und die Reduktion der Verstärkung werden in einzelnen Kanälen durchgeführt (Latzel et al., 2003). Wenn die Sprache im ganzen Frequenzbereich existiert und wenn die Störgeräusche im tiefen Bereich dabei unterdrückt werden sollen, ist es wirksamer, dass die Hörsysteme mehr Kanäle haben (Kim & Barrs, 2006).

Die Hersteller kombinieren oft mehrere Algorithmen (Montano & Spitzer, 2013), zum Beispiel wird bei Siemens die Kombination der Modulationsmethode und der Wiener Filterung verwendet (Weber et al., 2006). Die adaptive Störschallunterdrückung hängen von der Art der Algorithmen, Situation oder zusätzlichen Elementen ab. Außerdem ist es von Produkt zu Produkt unterschiedlich, wann und wie stark die Funktionselemente funktionieren. Das erschwert die Auswirkung auf das Verhalten der Hörsysteme zu erfassen.

Die modulationsbasierende Methode nutzt verschiedene Auslösefaktoren. Die Störschallunterdrückung der Hörsysteme starten zum einen nur anhand der Modulationstiefe und zum anderen anhand von zusätzlich modulierten Schallpegeln, gesamten Pegeln, Modulationsfrequenz, modulierte Signale und vorhandene Bandbreite (Mueller & Ricketts, 2005). Sowohl die Auslösung als auch die Reduktion der Verstärkung hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese Faktoren hängen unter anderem von Eingangspegeln und der audiometrischen Konfiguration ab. Außerdem können die manuelle Einstellungen von Störschallunterdrückung von „schwach“ bis „stark“ auf einer Skala vorgenommen werden, um die Reduktion der Verstärkung zu bestimmen (Krishnamurti & Anderson, 2008).

Die Auswirkung der Störschallunterdrückung ist aus der Differenz der Ausgangspegel zwischen Feature ON und Feature OFF zu erkennen (Montano & Spitzer, 2013). Verschiedene Studie über die konkreten Beispiele der Störschallunterdrückung verfügbar. Bei Siemens (Triano) wird Modulationsanalyse durchgeführt und die Reduktion der Verstärkung ist abhängig von der Modulationstiefe und SNR. Im

nächsten Schritt wird die genaue Reduktion der Verstärkung durch Wiener Filter bestimmt (Chung, 2004a). Zudem veröffentlichte Siemens ein Patent. Laut dem Patent reduziert die Schallunterdrückung bei der Existenz von Nutz- und Störschall die Verstärkung. Je lauter Eingangspegel und je schlechter SNR, desto stärker reduziert sich die Verstärkung. Dabei verringert sich das Störsignal anhand von SNR auf unterhalb der Hörschwelle (US8107656 B2, 2012). Andere Hörsysteme unterdrücken gegen zufällige Rauschen die Ausgangspegel um etwa 5 dB, des Weiteren reduziert noch ein anderes Hörgerät die Ausgangspegel um 20 dB (Bentler & Mueller, 2009). In einer anderen Prüfung gingen die gesamten Ausgangsschalldruckpegel zu zufälligen Rauschen beim ersten Hörgerät um 4.25 dB zurück, beim zweiten um 13.6 dB und beim dritten dagegen wird der Ausgangspegel um 3 dB gesteigert. Wenn man die Reduktion bei jeder Frequenz maß, reduzierte ein Hörgerät den Ausgangsschallpegel bei ganzen Frequenzen. Aber ein anderes Hörsystem verringerte die Ausgangsschallpegel nur im tiefen Bereich (Bentler & Chiou, 2006). Eine Forschung von Alcantara et al. (2003) zeigt die Unterdrückung von 0 dB bis 5 dB gegen nur sprachsimulierte Rauschen und die von 8 dB bis 10 dB gegen den Ton, der sich aus den gleichen lauten Rauschen und sprachsimulierten Rauschen zusammensetzt. Zudem beeinflusst die Kompression gegebenenfalls die maximale Wirkung der Störschallunterdrückung, da die Störschallunterdrückungen mit dem Kompressionssystem oft gekoppelt werden (Kuk et al., 2002).

Als Indikator der Zeitkonstanten der Störschallunterdrückung gibt es „onset time“ und „offset time“. Onset time definiert, wie lange es dauert, dass die Störschallunterdrückung innerhalb von 3 dB vom maximalen Auswirkungswert den Ausgangsschalldruck reduziert. Onset time beträgt abhängig vom Hörgerät etwa 5 s (beispielsweise 5.4 s bei einem Siemens-Hörgerät), eventuell auch 30 s (Bentler & Chiou, 2006). Offset time definiert, wie lange es dauert, bis die durch die Störschallunterdrückung reduzierte Verstärkung sich innerhalb von 3 dB vom Wert erholt, der in ruhiger Umgebung gemessen wird. Offset time liegt zwischen 5 ms und ein paar Sekunden (Mueller & Ricketts, 2005).

Wenn man sich auf modulationsbasierende Störschallunterdrückung beschränkt, beträgt onset time von 2 s bis 5 s, und offset time bis 0.5 s. Im Vergleich zur modulationsbasierenden Störschallunterdrückung reagiert Wiener Filterung schneller. Onset time von Wiener Filterung beträgt unterhalb von 10 ms (Burton et al., 2006).

Weber et al. (2006) stellten bei ihrer Forschung sicher, dass das verwendete Siemens-Hörgerät mit zwei Algorithmen ausgestattet ist und dass die Wiener Filterung sofort funktioniert. Die Reaktion der modulationsbasierten Störschallunterdrückung dagegen reagiert auf den Testton in einigen Sekunden. Ein Vor- aber auch Nachteil ist, dass modulationsbasierende Störschallunterdrückung und Wiener Filterung simultan funktionieren, weshalb die Funktionen wegen der Überlappung der verschiedenen Algorithmen nicht einzeln gemessen werden können (Bentler & Wu, 2013).

Zwar deckten bisherige Studien die Auswirkung der Störschallunterdrückung auf, jedoch verwendeten sie breitbandiges Rauschen oder die Testsignale mit verschiedenen SNR, die sich aus Sprache und Rauschen zusammensetzen. Die Studien wurden unabhängig voneinander durchgeführt und lieferten dementsprechend unterschiedliche Ergebnisse der Reduktionen an bestimmten Zeitpunkten. Darüber hinaus liefern Ein- und Ausschwingzeit der Störschallunterdrückung, nämlich onset time und offset time, Auskünften über die Reaktionszeiten beim Pegelsprung nur für den bestimmten Eingangspegel. Daher sind die Zeitverhalten eventuell anders, wenn andere Lautstärken dargeboten werden. Aus diesen Gründen sind die verfügbaren Informationen über die Auswirkungen der Schmalbandsignale bei jeweiligen Eingangspegeln auf die Reaktionen der Störschallunterdrückung noch gering.

### 1.2.5 Rückkopplungsunterdrückung

Die Entwicklung der adaptiven Rückkopplungsunterdrückung in den letzten Jahren bringt uns großen Nutzen. Dieser Algorithmus ermöglicht zusätzliche stabile Verstärkung ohne Pfeifton. Das trägt zur Verbesserung der Hörbarkeit von leiser Sprache und zur besseren offenen Versorgung bei (Powers & Beilin, 2013).

Beim Pfeifton beherrscht eine sinusförmige Signalkomponente das akustische Signal (Schaub, 2005). Diese Rückkopplung entsteht meistens zwischen 2000 Hz und 5000 Hz (Dyrlund & Lundh, 1990). Es gibt verschiedene Maßnahmen gegen dieses Phänomen, obwohl große Unterschiede im Verhalten zwischen Algorithmen bestehen (Freed & Soli, 2006).

Eine konventionelle Maßnahme ist, dass die Hörsysteme die Signale in den betroffenen Kanälen nicht verstärken (Chung, 2004b). Nach der Entwicklung der nichtlinearen Hörgeräte wird die Unterdrückung der Verstärkung nur bei leisen Eingangspegeln oder die Erhöhung der Kompressionsschwelle vor der Reduzierung der ganzen Ausgangspegel bevorzugt, sobald tonale Signale detektiert werden. Auch der Notch-Filter unterdrückt die Verstärkung, allerdings kann die Verstärkung exakter durch den Einsatz eines oder mehrerer scharfer Kerbfilter unterdrückt werden (Agnew, 1996).

Die zuverlässigste und übliche Annäherung ist eine Phasenumkehrmethode (Strasser & Puder, 2015). Die Hörgeräte erzeugen die Signale, die die Rückkopplung auslöschen können und führen die erzeugten Signale ins Mikrofon ein (Bustamante et al., 1989). Demzufolge können die Hörsysteme theoretisch ohne Verlust der Verstärkung den Rückkopplungspfad vermeiden. In einer Prüfung konnte ein Algorithmus ohne Pfad mehr als 10 dB Verstärkung erzielen (Groth, 1999).

Ein Nachteil der Phasenumkehr ist, dass sie lange dauert. Darum werden weitere Methoden erforscht. Als weitere Methode kommen die Signalmarkierung und die Frequenzverschiebung in Frage. Siemens kombiniert mit diesen Methoden die Phasenumkehr. Die Frequenzverschiebung vermeidet die Rückkopplung, indem das System um 25 Hz die Frequenz der Signale verschiebt. Ferner ermöglicht die Frequenzverschiebung, den Filter für Phasenumkehr schnell, meistens vor dem Pfad, zu adaptieren. Außerdem erzeugt die Signalmarkierung bei Siemens ein leichtes phasenmoduliertes Signal, dadurch kann das Hörsystem besser beurteilt werden, ob die Rückkopplung passiert oder nicht, weshalb das Hörsystem nur im Bedarfsfall andere Rückkopplungsmanager aktivieren kann (Steinbuss et al., 2011).

Sowohl Siemens als auch andere Hersteller kombinieren mehrere Maßnahmen gegen Rückkopplungen. Beispielsweise unterdrückt ein Hörsystem zuerst mittels der schnell wirkenden adaptiven Rückkopplungsunterdrückung die Verstärkung, sobald es am Ausgang ein tonales Signal detektiert. Danach wechselt der Algorithmus allmählich zur langsam wirkenden Phasenumkehr. Der schnell wirkende Algorithmus funktioniert innerhalb von einer Sekunde. Dagegen dauert die Auslösung des langsam wirkenden Verfahrens 5 s bis 10 s (Kuk & Ludvigsen, 2002).

Die Rückkopplungsunterdrückung hilft den Hörsystemen bei der Vermeidung der Rückkopplung, eventuell zusätzlich zur Möglichkeit größerer Verstärkung ohne Pfad.

Allerdings funktionieren die Rückkopplungsunterdrückungen nicht immer optimal, sodass sie häufig mit einem Verstärkungsverlust oder einer Klangbeeinträchtigung verbunden sind (Ulrich & Hoffmann, 2012). Wenn die Verstärkungen zur Vermeidung der Rückkopplung gesenkt werden, ist es besser, mehr Kanäle und mehr Bänder verfügbar zu haben, da die Reduktion der Verstärkung dann im engeren Rahmen durchgeführt werden kann (Mueller, 2002).

### 1.2.6 Weitere Funktionen

Ein weiteres Funktionselement, die Impulsschallunterdrückung, wurde erfunden, weil die bisherige Störschallunterdrückung oder Peak Clipping auf den Pulsschall nicht rechtzeitig reagieren kann, der weniger als 1 ms auf die intensive Spitze ansteigt (Henderson & Hamernik, 1986). Dieses Funktionselement reduziert die Verstärkung für den Impulsschall. Dadurch kontrolliert diese Impulsschallunterdrückung ohne negative Wirkung auf das Sprachverständnis den Pulsschall (Chalupper & Powers, 2007). Wenn man gezielt die Impulsschallunterdrückung höher stellt, reduziert die Impulsschallunterdrückung das Impulsrauschen stärker. Aber der Grad der Reduktion ist von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich. Ein Hörgerät reduziert um 5 dB die Ausgangspegel, ein anderes Hörsystem verringert sie um 20 dB (Chalupper & Branda, 2008).

Wenn man über Funktionselemente nachdenkt, darf man das richtcharakteristische Mikrofon nicht vergessen. Richtcharakteristik Mikrofone können die Auswirkung der Störgeräusche reduzieren, die räumlich von dem Nutzsignal getrennt sind. Dabei nimmt es in der Regel die Töne nur von vorne auf. Aber es ist auch, je nach Situation möglich, die Aufnahmerichtung in andere Richtungen adaptiv einzustellen (Chalupper et al., 2011). Diese räumliche Störschallunterdrückung kann eventuell das Sprachverständnis im Störgeräusch objektiv verbessern (Gnewikow et al., 2009; Kuk, et al., 2002).

Es ist auch sinnvoll, mit den optimierten Parametern je nach Situation zu wechseln, da die nötigen akustischen Parameter von Situation zu Situation unterschiedlich sind. Eine Lösung der Anforderung sind entsprechende Programme. Man kann mit dem im Voraus erzeugten Programm mit Hilfe eines Schalters am Hörgerät, von der Fernbedingung beziehungsweise automatisch je nach Situation das Programm wechseln. Als typisches

Programm gibt es „Hören in Ruhe“ und „Hören im Störschall“. Das Programm „Hören in Ruhe“ sieht die Grundverstärkung, adaptive Parameter sind ausgeschaltet oder schwach konfiguriert, das Mikrofon wird auf einen omnidirektionalen Modus eingestellt. Beim Programm „Hören im Störgeräusch“ werden andere Charakteristiken verwendet, und zwar Mikrofonmodus sollte auf adaptive Modi eingestellt werden, die Störschallunterdrückung sollte nach den Erfordernissen aktiviert werden und die Verstärkung bei tiefen Tönen wird abgesenkt (Ulrich & Hoffmann, 2012). Inzwischen können mehrere Hörsysteme mithilfe der Signalanalyse-Algorithmen die Situationserkennung durchführen. Durch die Situationserkennung verfügen High-End-Hörgeräte, anstelle definierter Hörprogramme, über eine adaptive und gleitende Optimierung der Einstellparameter entsprechend der jeweiligen akustischen Situation (Kießling, 2006).

### **1.3 Ziel der Arbeit**

Die Lautheitsskalierung ist für Hörsystemversorgungen durchaus von großen Nutzen, aber es existieren noch Probleme dabei. Die Lautheitsskalierung verwendet unter anderem Schmalbandsignale und verschiedene Frequenzen und Pegel. Aber es ist unbekannt, wie die Funktionselemente auf die Testsignale reagieren. Die Entwicklung der Funktionselemente ist nicht einfach nachvollziehbar, weil die genauen Hintergründe und die genaue Auswirkung nicht immer bekannt sind. Wenn die Funktionselemente auf das Signal der Lautheitsskalierung reagieren, können sie die Ergebnisse der Lautheitsskalierung beeinflussen. Insbesondere die Störschallunterdrückung sollte auf Rauschen reagieren. Außerdem reagieren die Hörsysteme zeitlich betrachtet nicht einheitlich, sondern in der Regel verzögert. Ein zusätzliches Problem besteht darin, dass nicht alle Hörsysteme gleich reagieren.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, einen Überblick über die Reaktion der Hörsysteme auf das Signal der Lautheitsskalierung, die sich aus verschiedenen Frequenzen und verschiedenen Pegeln zusammensetzen, zu geben. Damit soll versucht werden, die Ergebnisse der Lautheitsskalierung bei Hörsystemen genauer zu erfassen und damit zu einer besseren Hörsystemversorgung beizutragen.



---

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde zweierlei untersucht:

- 1) Das Verhalten der Ausgangspegel verschiedener Hörsysteme auf das typische Testsignal, Terzbandrauschen, bei den entsprechenden Frequenzen und Eingangspegeln. Dabei wird außerdem der Einfluss der Funktionselemente, vor allem der Störschallunterdrückung schwerpunktmäßig betrachtet.
- 2) Untersuchung, ob die Funktionselemente während der Darbietung des Testsignals bei der Lautheitsskalierung das Verhalten der Hörsysteme beeinflussen.

## 2 Material und Methoden

Um das Ziel dieser Arbeit zu erreichen, wurde das Ausgangsverhalten verschiedener Hörsysteme auf das typische Signal für die Lautheitsskalierung aufgenommen und ausgewertet. Hierbei wurden drei spezifische Programme für jedes Hörsystem konfiguriert, um die Funktion der adaptiven Features zu untersuchen. Erstes Programm schaltet die adaptiven Funktionselemente aus. Das zweite Programm ist die vom Hersteller empfohlene Einstellung der Funktionselemente und das dritte Programm hat nur die Störschallunterdrückung aktiviert. Damit wurde der Ausgangspegel bei den jeweiligen Programmen zu den Terzbandrauschen bei den jeweiligen Frequenzen und Pegeln gemessen, und zwar:

### Testsignale

Art: Terzbandrauschen  
Frequenz: 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz  
Pegel: zwischen 50 dB SPL und 100 dB SPL im Abstand von jeweils 10 dB

### Hörsysteme

Hörsystem: je ein High-End- und ein Low-End-Hörgerät von zwei Herstellern  
Programm: Adaptive Features AUS (AUS)  
vom Hersteller empfohlene Einstellung der Funktionselemente (AN)  
und Störschallunterdrückung eingeschaltetes Programm (SU)

Das folgende Unterkapitel stellt die Details der verwendeten Materialien, den Aufbau und die Methoden vor. Als Prinzip dieser Studien wurde versucht, möglichst die Vergleichbarkeit und die Objektivität zu bewahren und gleichzeitig die Untersuchungskonditionen der Praxis anzunähern.

### 2.1 Testsignale

In Hinblick auf DIN ISO 16832:2006 wurden Terzbandrauschen mit den von der Norm bevorzugten Mittenfrequenzen, nämlich 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und zusätzlich Mittenfrequenzen 6000 Hz, die für die Versorgung der Hörgeräte auch relevant ist, in dieser Untersuchung verwendet.

## 2.2 Hörsysteme

### Verwendete Hörsysteme

In dieser Arbeit wurden je ein High-End- und ein Low-End- Hinter-dem-Ohr Hörgerät von zwei Herstellern, nämlich Phonak GmbH und Siemens AG, verwendet, um mehrere Muster und Daten allgemeiner Hörgerätefunktionen zu sammeln. Bolero V90-M (Phonak V90) als Phonak High-End-Gerät, Baseo Q15-M (Phonak Q15) als Phonak Low-End-Gerät, als High-End- und Low-End-Gerät von Siemens, Motion SX binax7 (Siemens bx7) und Sirion 2 M (Siemens Sirion2) wurden untersucht.

Phonak V90 hat zwanzig einstellbare Kanäle mit Richtmikrofon, Störschallunterdrückung, Rückkopplungsunterdrückung, Windgeräuschunterdrückung, Hallunterdrückung und Impulsschallunterdrückung.

Im Phonak Q15 bestehen vier einstellbare Kanäle mit Richtmikrofon, Störgeräuschunterdrückung und Rückkopplungsunterdrückung.

Siemens bx7 hat zwanzig einstellbare Kanäle mit verschiedenen Funktionselementen, und zwar Richtmikrofon, Sprach- und Störlärmmanager, Impulsschallunterdrückung und direktionale Sprachanhebung und Rückkopplungsunterdrückung.

Siemens Sirion2 verfügt über acht einstellbare Kanäle mit Richtmikrofon, Sprach- und Störlärmmanager und Rückkopplungsunterdrückung.

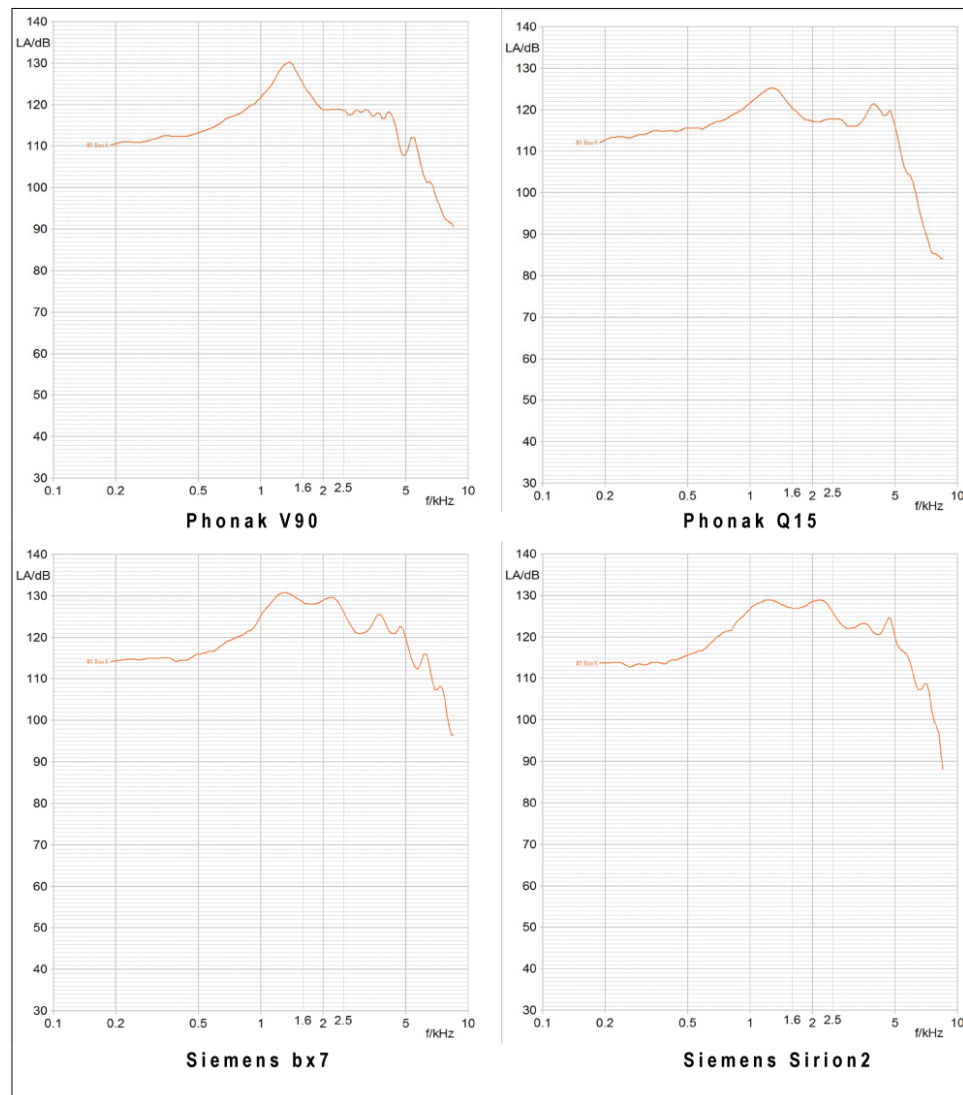
Die gängigen Siemens-Hörsysteme sind mit dualen oder Silbenkompression verfügbar und kombinieren zwei Störschallunterdrückungsalgorithmen. Und zwar die Wiener Filterung und Modulationsanalyse (Siemens, 2015). Die ehemalige Generation von Phonak-Hörsystemen „Spice“ war mit einem, auf duale Kompression basierender Algorithmus, ausgestattet (Phonak, 2011). Auf die Spice-Serie folgte die Phonak Quest-Serie, beispielsweise Phonak Q15, das in dieser Forschung untersucht wurde.

In Tabelle 2 findet man die Übersicht über Mittenfrequenzen der einstellbaren Kanäle jedes Hörgeräts und Frequenzbreiten der entsprechenden Terzbandrauschen.

**Tabelle 2: Übersicht über Mittenfrequenzen der einstellbaren Kanäle jedes Hörgeräts und die Frequenzbreiten der entsprechenden Terzbandrauschen.**

Hz	125	500	1000	2000	4000	6000	8000
Terzbandbreite	425–575	850–1150	1700–2300	3400–4600	5100–6900		
Phonak	V90	170	340 520 680	860 1000 1200 1400 1600	1700 2000 2300	2700 3000 3400 4000 4800	5900 7500 9600
	Q15		320	1000	2300	5800	
Siemens	bx7	63 250	500 750	1000 1250	1500 1750 2000 2250 2500 2750 3125	3625 4250 5125	6250 7625 9375 10625
	Sirion2	63 250	500 750	1125	2000	3625	6500

Vor der Prüfung wurde der maximalen Ausgangsschalldruckpegel bei einem Eingangspegel 90 dB SPL (engl. Output Sound Pressure Level at 90 dB input level: OSPL90) jeder Hörsysteme mit 2 Kubikzentimeter ( $\text{cm}^3$ ) Kuppler unter Berücksichtigung von DIN EN 60118-7:2005 überprüft (siehe Abb. 4).



**Abbildung 4: OSPL90 – Wiedergabekurve mit 2  $\text{cm}^3$  Kuppler jeweiliger Hörsysteme.**

### Einstellung der Hörsysteme

Die Voreinstellung der Hörsysteme wurde zwecks hoher Reproduktionsgenauigkeit der Voreinstellung zwischen den Hörgeräten mittels der Messbox ACAM 5 (Acousticon Hörsysteme GmbH) mit 2 cm<sup>3</sup> Kuppler durchgeführt. In erster Linie wurden beeinflussbare Einstellelemente, wie beispielsweise die akustischen Parameter, konfiguriert. Danach wurden Einstellungen der Verstärkung und Erzeugungen der Testprogramme durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ausgangspegel zwischen Frequenzen und zwischen Eingangspegel wurden mittels eines Chirp-Signals die Verstärkungen bei allen Frequenzen und bei allen einstellbaren Eingangspegeln möglichst gleich eingestellt. Die durchgeführte Voreinstellung wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

Vor der Einstellung der Verstärkung wurden andere beeinflussbare Parameter konfiguriert. Ins Audiogramm wurden 30 dB Hearing Level (HL) flacher Hörverlust eingegeben, weil die Hörschwelle von 30 dB HL als geringgradige Schwerhörigkeit bezeichnet wird. Zudem ist der Anteil der geringgradigen Schwerhörigen höher als andere Grade der Schwerhörigkeit (Heger & Holube, 2010). Außerdem ist die Lautheitsskalierung für die Hörsystemversorgung für die geringgradige Schwerhörigkeit von Bedeutung, da die Schwerhörigen mit einem geringeren Hörverlust und niedriger Unbehaglichkeitsschwelle die auf Lautheit basierende Versorgung bevorzugen (Gabriel, 2001). Ein weiterer Grund dafür ist, dass das Risiko besteht, dass die höhere Hörschwelle möglicherweise den unerwarteten früheren Stopp der Störschallunterdrückung verursacht, weil ein Algorithmus einer Störschallunterdrückung das Ziel hat, Störschalle nicht komplett zu beseitigen, sondern unhörbar zu machen (US8107656 B2, 2012). Als andere akustische Parameter wurden gedämpfte Tragehaken und geschlossene Otoplastik ausgewählt.

Phonak V90 aktiviert immer eine Frequenzerniedrigung, sogenannte „SoundRecover“, unabhängig von Audiogramm, aber dieses Feature wirkt sich absichtlich auf die Ausgangspegeln im hohen Frequenzbereich aus. Die Auswirkung bringt eine schlechtere Vergleichbarkeit und weniger Genauigkeit als weitere nützliche Informationen. Darum wurde es deaktiviert.

Außerdem ist es so, dass Phonak-Hörgeräte ohne Rückkopplungstest ihren Rückkopplungsunterdrückung nicht aktivieren können, deswegen wurde die

Rückkopplungsmessung durch den Anschluss an den Kuppler von Messbox durchgeführt. Dabei wurde keine absichtliche Ausgangspegelbegrenzung wegen dieses Tests beobachtet.

Auch Siemens-Hörgeräte haben eine Besonderheit. Die Hörgeräte von Siemens sind mit dualer Kompression und Silbenkompression ausgestattet. In dieser Untersuchung wurde die vom Hersteller empfohlene Kompressionsart benutzt, nämlich die Silbenkompression.

Die Hörsysteme verfügen über verschiedene Programme, wie zum Beispiel „Automatik“, „ruhige Umgebung“ und „laute Umgebung“. Um die herausgefundenen Informationen auch in der Praxis zu nützen, sollten die in der Praxis die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Programme als Grundprogramm bei dieser Voreinstellung eingesetzt werden. Aber das Programm „Automatik“ kann während der Messung zu einem anderen Programm wechseln oder seine Eigenschaften modifizieren. Auf der anderen Seite werden die Funktionselemente beim Programm „ruhige Umgebung“ eher mild eingestellt, deshalb ist dieses Programm nicht geeignet für die Prüfung der adaptiven Gerätefunktionen, weil man nicht erfahren kann, ob die Funktionselemente nicht oder zu schwach reagieren, immer wenn keine Reaktion beobachtet wird. Um den reinen Einfluss der vorhandenen Funktionselemente ohne Nebenwirkungen der automatischen Programme und ohne Einschränkung der Funktionselemente durch Programme zu messen, wurde das Programm „laute Umgebung“ als Basisprogramm verwendet, das für jedes Hörgerät zur Verfügung steht. Beispiele „laute Umgebung“ für Siemens-Hörgeräte und „Komfort im Störgeräusch“ für Phonak-Hörgeräte.

Abb. 5 und Abb. 6 zeigen die Verstärkung des Programms „ruhige Umgebung“ (links) und die des Programms „laute Umgebung“ (rechts) mit flachem Hörverlust von 30 dB HL. Laut der Anpasssoftware von Phonak - Phonak Target, sind die vom Hersteller empfohlenen Konfigurationen der Verstärkung beim verwendeten Programm „Komfort im Störgeräusch“ im ganzen Frequenzbereich um 2 dB bis 5 dB niedriger als beim Programm „ruhige Umgebung“ (siehe Abb. 5). Auf der anderen Seite sind die vom Hersteller empfohlene Parameter der Verstärkung beim Programm „laute Umgebung“ laut der Anpasssoftware von Siemens - Connexx 8, nur bei den tiefen Frequenzen niedriger um 1 dB bis 6 dB als beim Programm „Universell“ (siehe Abb. 6).

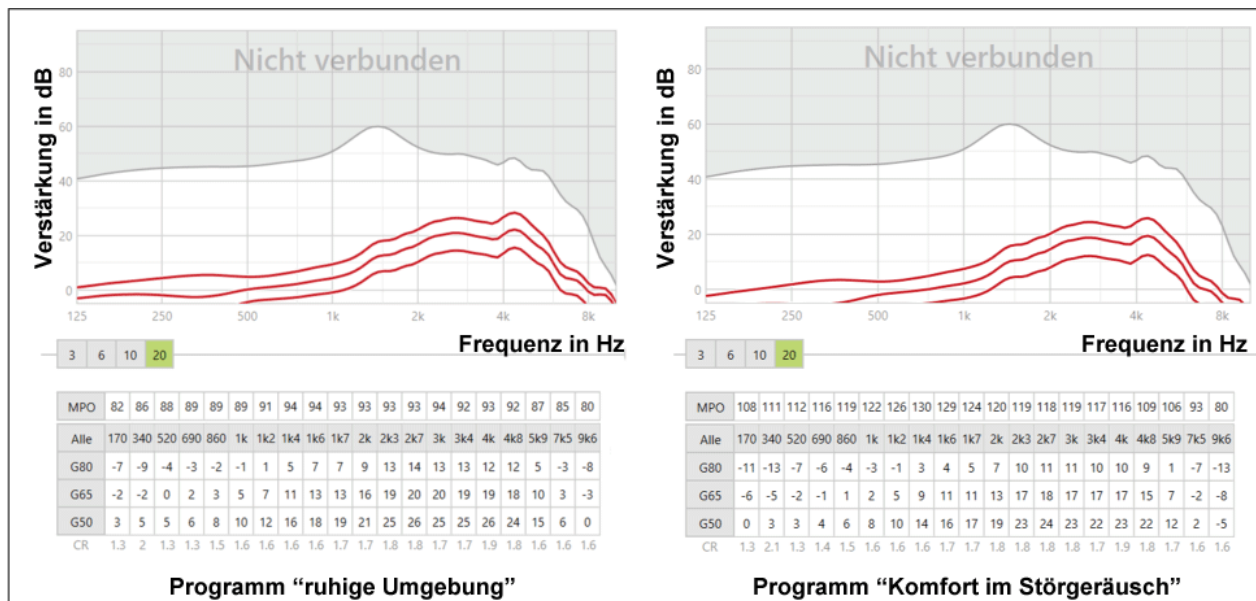


Abbildung 5: Phonak: Verstärkung der Programmen „ruhige Umgebung“ (links) und „laute Umgebung“ (rechts): Verstärkungen beim Programm „Komfort im Störgeräusch“ sind im ganzen Frequenzbereich niedriger als beim Programm „ruhige Umgebung“.

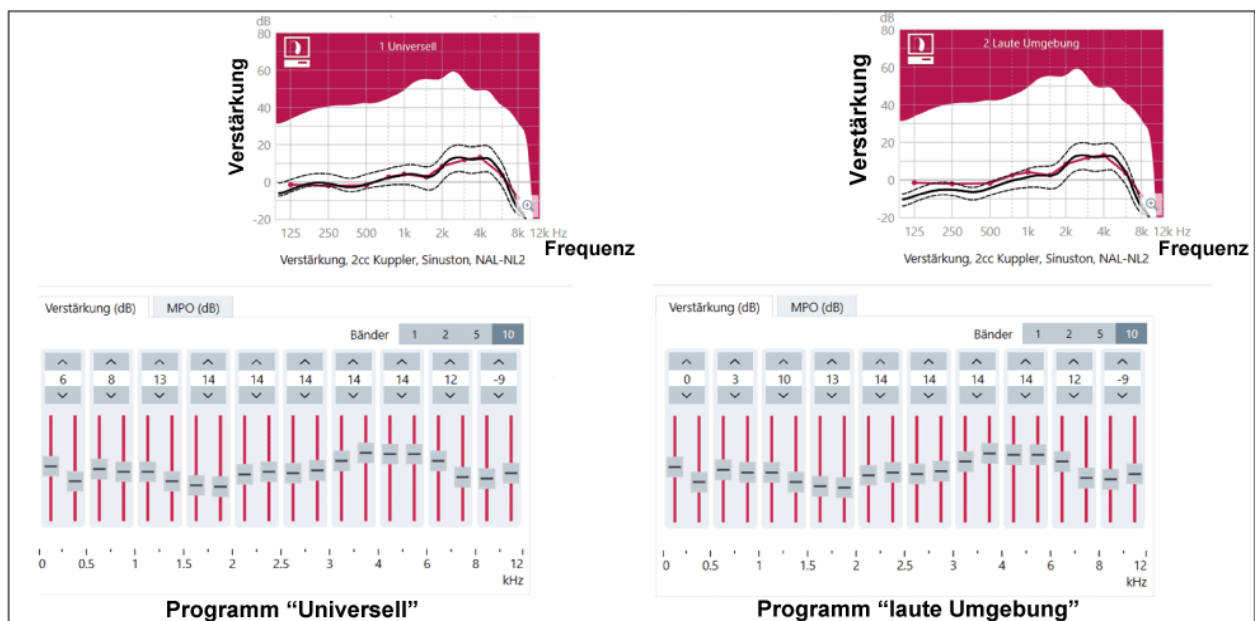


Abbildung 6: Siemens: Verstärkung der Programmen „Universell“ (links) und „laute Umgebung“ (rechts): Verstärkungen beim Programm „laute Umgebung“ sind nur im tiefen Frequenzbereich niedriger als beim Programm „Universell“.

Mit diesen ausgewählten Parametern und Programm wurde die Verstärkung eingestellt. Zuerst wurden die adaptiven Funktionselemente ausgeschaltet, dann wurden die Verstärkung in der Messbox mit dem 2 cm<sup>3</sup> Kuppler eingestellt. Für diese Einstellung wurde das Chirp-Signal verwendet.

Die Regler der Ausgangspegelbegrenzungen (engl. maximum pressure output: MPO) wurden voll aufgedreht, damit diese ausgangspegelgesteuerten Systeme die Ausgangspegel möglichst nicht begrenzen.

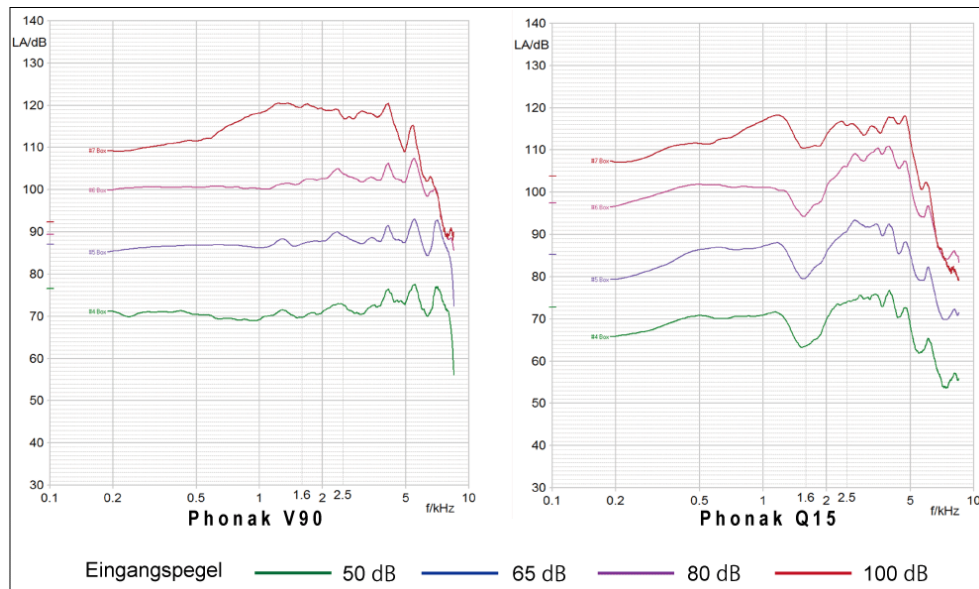
In dieser Recherche wurde die Verstärkung zu allen gemessenen Frequenzen möglichst linear 20 dB angepasst, um den Einfluss der Frequenzen und der Eingangspegel von der Schallquelle auf die adaptiven Parameter besser zu erkennen und zu vergleichen. Die Entscheidung für die Verstärkung, also 20 dB, wurde aus folgenden Gründen getroffen: Wenn die Verstärkung zu niedrig wäre, könnten die Funktionselemente vor der Erreichung ihrer eigentlichen gewünschten Reduktion ihre Wirkung zurücksetzen. Ein zweiter Grund ist, dass die Reduktion der Störschallunterdrückung nach bisherigen Studien eventuell mehr ist als 10 dB (Bentler & Chiou, 2006). Ein dritter Grund ist, dass die Ausgangspegel nicht durch die Funktionselemente, sondern durch MPO begrenzt sind, wenn die Verstärkungen zu hoch angepasst werden.

Eine Ursache, wie zum Beispiel die Kanalzahl, beschränkt beim Low-End-Gerät die Einstellbarkeit der Verstärkung. Als Kompromiss wurden insbesondere die entsprechenden Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei direkten einstellbaren Eingangspegeln von 50 dB SPL, 65 dB SPL und 80 dB SPL berücksichtigt.

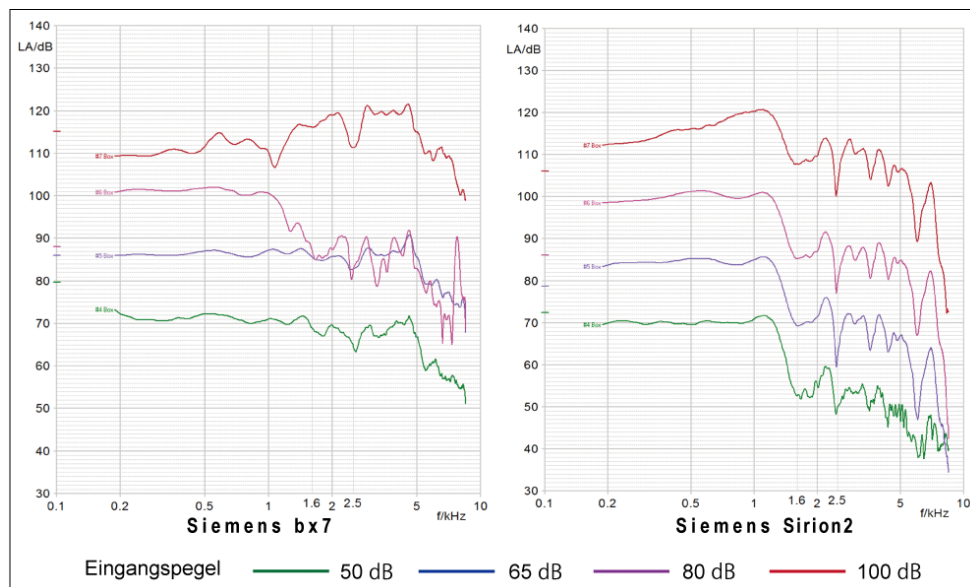
Es war zu beachten, dass man beim Programm “laute Umgebung“ von Siemens das feste direktionale Mikrofon nicht verändern kann. Bei der Einstellung in der Messbox reagierte das direktionale Mikrofon auf das Prüfsignal, weil das Prüfsignal von Seiten der Hörsysteme dargeboten wurde. Demzufolge verstärkten Siemens-Hörsysteme das Signal nicht im hohen Frequenzbereich. Daher konnte man keine genaue Einstellungswirkungen bei hohen Frequenzen erfassen. Um sicherzugehen, dass die Verstärkungen bei hohen Frequenzen wirklich zum erwünschten Ziel führen, wurden die Ausgangspegel zusätzlich mit der Messeinstellung von Automatik Programm kontrolliert.



Die unten ausgeführten Grafiken (Abb. 7 und Abb. 8) stellen die Ausgangspegel mittels eines Chirp-Signals bei jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 65 dB SPL, 80 dB SPL und 100 dB SPL dar.

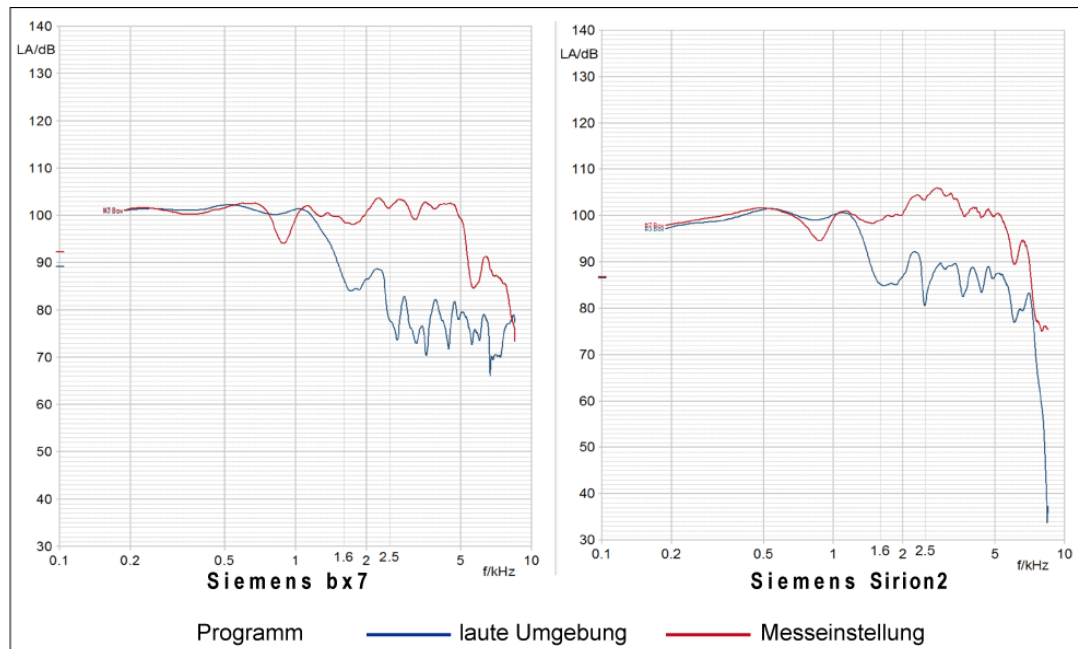


**Abbildung 7: Ausgangspegel der Phonak V90 (links) und Phonak Q15 (rechts) bei Eingangspegeln von 50 dB SPL (grün), 65 dB SPL (blau), 80 dB SPL (lila) und 100 dB SPL (rot), mittels Chirp-Signal.**



**Abbildung 8: Ausgangspegel der Siemens bx7 (links) und der Siemens Sirion2 (rechts) bei Eingangspegeln von 50 dB SPL (grün), 65 dB SPL (blau), 80 dB SPL (lila) und 100 dB SPL (rot) mittels Chirp-Signal. Wegen dem Richtmikrofon war es unmöglich, die Verstärkung im hohen Frequenzbereich in der Messbox richtig zu messen.**

In Abb. 9 findet man ein Beispiel der Differenz zwischen dem eingestellten Programm und der Messeinstellung von Siemens bx7 (links) und Siemens Sirion2 (rechts), die zur Kontrolle der Verstärkung verwendet wurde.



**Abbildung 9: Beispiel der Ausgangspegel bei Eingangspegel von 80 dB SPL des eingestellten Programms „laute Umgebung“ (blau) und der Messeinstellung (rot) mittels Chirp-Signal von Siemens bx7 (links) und Siemens Sirion2 (rechts).**

Um die Wirkung der Funktionselemente zu prüfen, wurde das eingestellte Grundprogramm kopiert und drei verschiedene Programme erzeugt, die aus den unterschiedlichen Konfigurationen der adaptiven Funktionselemente bestanden. Zur Kontrolle der Funktionen von den adaptiven Features wurden alle Funktionselemente außer dem Richtmikrofon deaktiviert. Dieses Programm wurde als AUS bezeichnet. Als zweites Programm (AN) wurde die von Herstellern empfohlene Einstellung der Funktionselemente übernommen. Für drittes Programm wurden zur Untersuchung der Funktion von der Störschallunterdrückung die Störschallunterdrückung und richtcharakteristisches Mikrofon eingeschaltet und andere Features ausgeschaltet. Dieses dritte Programm wurde als SU bezeichnet. Die von den Herstellern empfohlene Stärke jedes eingeschalteten Funktionselements wurde nicht verändert.

Tabelle 3 liefert die Übersicht über die Konfigurationen der eingestellten Funktionselemente und der Stärke für jedes Programm jeweiliger Hörgeräte. Die linken

Zahlen in Rahmen stellen die eingestellte Stärke dar und die rechten Zahlen zeigen die maximal einstellbare Stärke der Funktionselemente. „Real Ear Sound“ bei Phonak V90 ist ein richtungsabhängiger Richtmikrofonmodus, der den Effekt menschlicher Ohrmuschel „Pinna Effekt“ berücksichtigt. Aus dieser Tabelle erkennt man, dass der Unterschied zwischen den Programmen SU und AUS nur aktive oder deaktive Störschallunterdrückung war und dass die Differenz zwischen den Programmen AN und SU bei Phonak Q15 und bei Siemens Sirion2 nur an- oder ausgeschaltete Rückkopplungsunterdrückung ist.

**Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Konfigurationen der Funktionselemente.**

	Phonak V90			Phonak Q15			Siemens bx7			Siemens Sirion2		
	AUS	AN	SU	AUS	AN	SU	AUS	AN	SU	AUS	AN	SU
Störschallunterdrückung	Aus	12 / 20	12 / 20	Aus	14 / 20	14 / 20	Aus	5 / 7	5 / 7	Aus	An	An
Rückkopplungsmanager	Aus	13 / 20	Aus	Aus	13 / 20	Aus	Aus	langsam	langsam	Aus	An	Aus
Impulsschallunterdrückung	Aus	8 / 20	Aus	—	—	—	Aus	2 / 3	Aus	—	—	—
Windgeräuschunterdrückung	Aus	16 / 20	Aus	—	—	—	Aus	2 / 3	Aus	—	—	—
Direktional Sprachanhebung	—	—	—	—	—	—	Aus	2 / 3	Aus	—	—	—
Richtmikrofon	Real Ear Sound	Real Ear Sound	Real Ear Sound	Omni	Omni	Omni	Direktionalität	Direktionalität	Direktionalität	Direktionalität	Direktionalität	Direktionalität

— nicht verfügbar

Eingestellte Stärke / Maximale einstellbare Stärke

## 2.3 Versuchsaufbau

Die Untersuchung wurde nicht in der Messbox, sondern im Freifeld durchgeführt, um praxisnahe Daten zu sammeln. Die Hörsysteme wurden mit dem 2 cm<sup>3</sup> Kuppler angekoppelt, und dann wurden die Ausgangssignale der Hörgeräte mittels des Messmikrofones (½“ Free-field Microphone Set Type 46AF von G.R.A.S Sound & Vibration) aufgenommen. Die gemessenen Amplituden wurden mithilfe der Software (NI LabVIEW Signal Express von National Instruments) analysiert.

Unter Berücksichtigung der Messbedingungen nach DIN EN ISO 8253-2:2009 wurde der Versuch aufgebaut. Der Lautsprecher (ADAM20 von KSdigital GmbH) stand vor

den Hörgeräten, also Azimut 0 Grad. Die Höhe des Lautsprechers und der Hörgeräte waren bei 1,2 Meter, dessen Höhe in Kopfhöhe eines sitzenden Probanden angenommen wurde. Die Bezugsachse verlief durch den Bezugspunkt. Der Abstand zwischen dem Lautsprecher und den Hörsystemen betrug 1 Meter.

Die Lautstärken der Darbietungstöne wurden mittels einer Mixer-Software (Ableton Live 8 von Ableton AG) gesteuert und mithilfe einer Schallpegelmessers (XL2 von NTi Audio) kontrolliert. Für die Einstellung des Schallpegelmessers wurden C-Frequenzbewertung und Fast-Zeitbewertung angewendet. Dieser Schallpegelmesser lag direkt hinter den Hörgeräten. Abb. 10 zeigt den Versuchsaufbau dieser Arbeit.

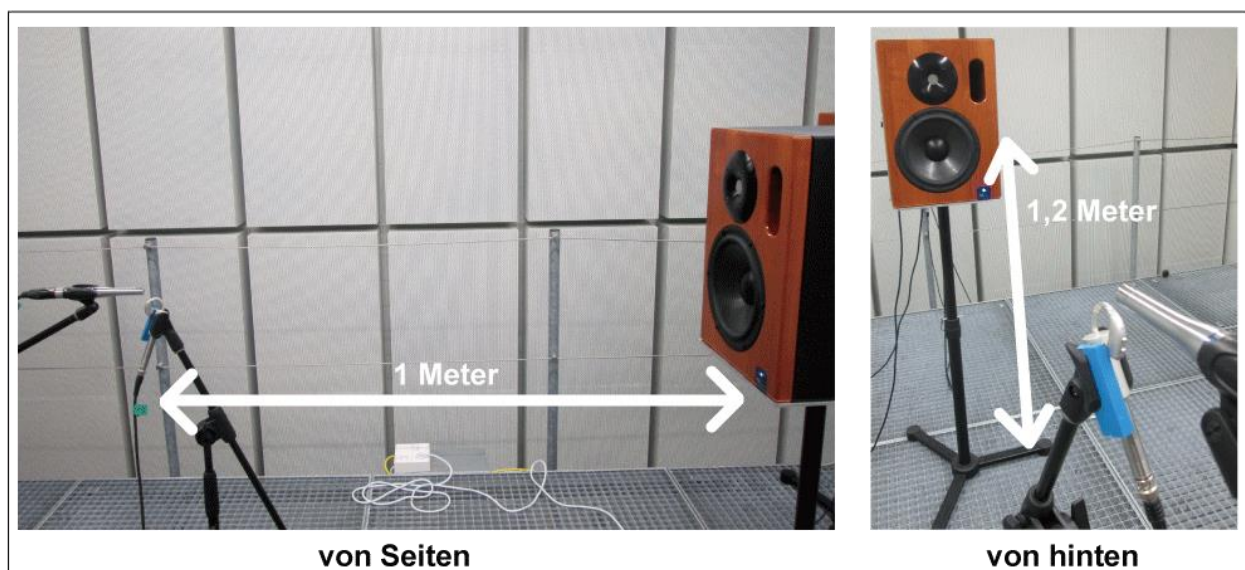


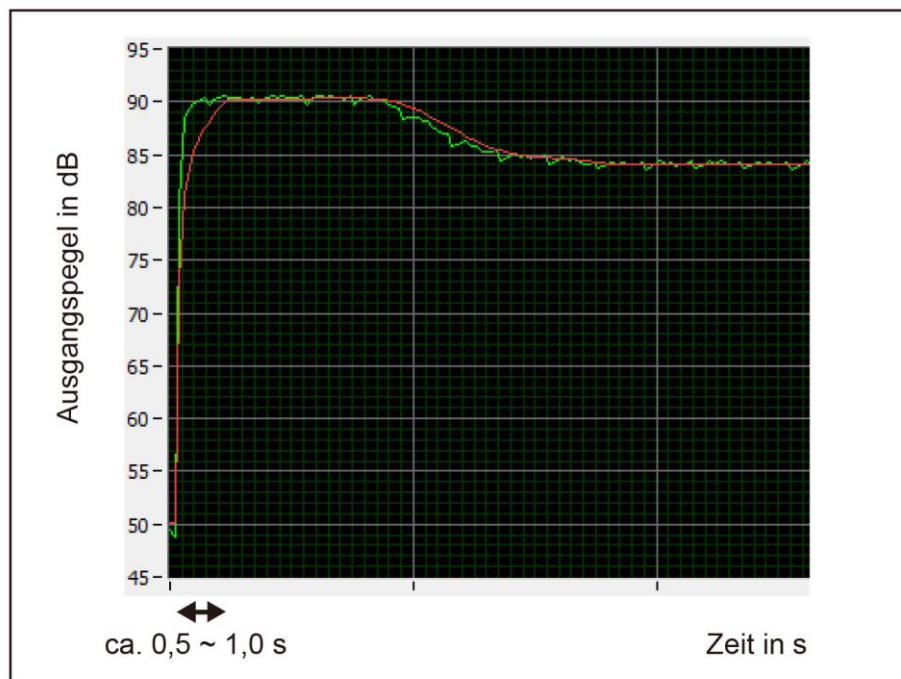
Abbildung 10: Versuchsaufbau von der Seite (links) und von hinten (rechts).

## 2.4 Messungen und Auswertungen

Die Ausgangspegel wurden jede 0,1 s während 45 s bei den jeweiligen Programmen AUS, AN und SU, bei den entsprechenden Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL, fünfmal für jede Kondition gemessen. Die Messdauer von 45 s wurde im Hinblick auf der ermittelten Dauer vom langzeitgemittelten Sprachspektrum (engl. long-term average speech spectrum: LTASS) nach DIN IEC 60118-15:2012 entschieden.

Für die Auswertung der Amplituden wurden die gesamten äquivalenten Dauerschallpegel (Leq) in dB SPL während der einen Sekunde, die als „running Leq“ benannt wird, zu jedem gemessenen Zeitpunkt statt der Fast-Zeitbewertung gemessen, um den Messfehler und die falschen Interpretationen zu vermeiden. Weil die mittels der Fast-Bewertungszeit gemessenen Amplituden aufgrund der Schwankung der Schallquellen zu stark schwanken. Die starke Schwankung erschwert die sichere Erkennung des Verhaltens von Hörgeräten. Die Bewertungszeit der running Leq von 1 s entspricht der Bewertungszeit für Slow-Einstellung. Die gemessenen Werte wurden auf die nächste ganze Zahl gerundet.

Andererseits hat der running Leq einen Nachteil. Der running Leq ermittelt den Durchschnitt der Amplituden zwischen einer Sekunde, daher reagiert er auf den Pegelsprung langsamer im Vergleich zur Fast-Zeitbewertung. Der running Leq reagiert in dieser Untersuchung auf den Pegelsprung etwa von 0,5 s bis 1,0 s langsamer als der mittels Fast-Zeitbewertung kalkulierte Ausgangspegel. Abb. 11 zeigt den Unterschied zwischen running Leq und Ausgangspegel, die mittels der Fast-Zeitbewertung gerechnet wurde.



**Abbildung 11: Differenz zwischen dem running Leq (rot) und dem Ausgangspegel (grün) mittels Fast-Zeitbewertung.**

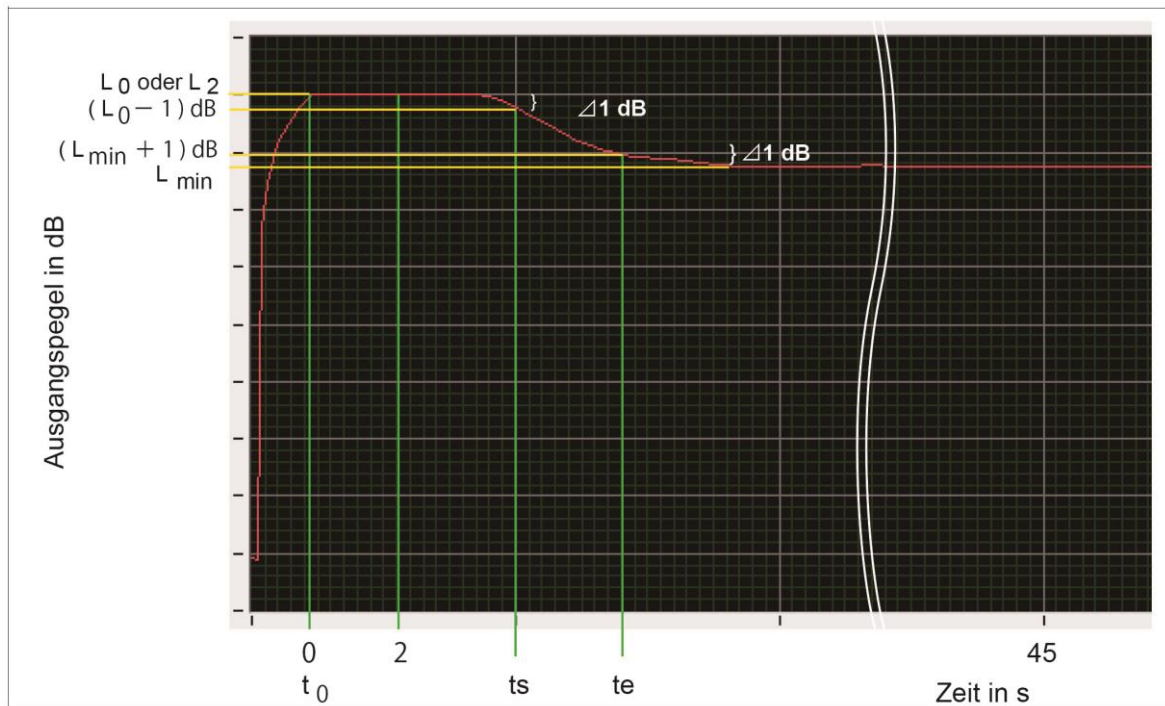


In diesem Versuch wurde der Zeitpunkt, an dem die Steigung oder der Anstieg von running Leq deutlich niedrig wurde, als der Anfang der Reaktion auf das Signal angesehen. Dieser Zeitpunkt wurde als  $t_0$  gezeichnet und der running Leq bei  $t_0$  als  $L_0$  benannt. Der Zeitpunkt von  $t_0$  wurde die Zeit von 0 s definiert, und dann wurde der Ausgangspegel 45 s lang aufgenommen und ausgewertet.

Darüber hinaus zeigen die zwei Zeitpunkte den Bezug auf die Reduzierung der Verstärkung von vier Zeitkonstanten nach Chung (2004a). Mit anderen Worten wurde die Anfangszeit der Reduzierung ( $t_s$ ) gemessen, an dem sich der Ausgangspegel von  $L_0$  um 1 dB reduziert. Es wurde auch die Endzeit der Reduzierung ( $t_e$ ) gemessen, bevor der Ausgangspegel sich um 1 dB auf den minimalen Ausgangspegel ( $L_{\min}$ ) reduziert.

Als weitere Kenndaten wurden der Ausgangspegel bei zwei Sekunden ( $L_2$ ) abgelesen, da zwei Sekunden die typische Dauer der Darbietungstöne bei der Lautheitsskalierung ist. Wenn die Differenz zwischen  $L_0$  und  $L_{\min}$  nur 2 dB betrug, wiesen die Beträge der Anfangs- und Endzeit der Reduzierung den gleichen Wert auf. Wenn die Differenz zwischen  $L_0$  und  $L_{\min}$  nicht größer als 1 dB war, wurden die Anfangs- und Endzeit der Reduzierung bei der Auswertung als 0 s angesehen, da die Anfangszeit der Reduzierung dabei gleich oder früher auftrat als die Endzeit der Reduzierung.

Abb. 12 stellt die Punkte dar, die in dieser Arbeit abgelesen wurden. Bei diesem Beispiel wurde der Ausgangspegel bis 2 s nicht reduziert, daher wiesen  $L_0$  und  $L_2$  den gleichen Wert auf.



**Abbildung 12 : Abgelesene Punkte in dieser Untersuchung: Anfangszeit der Reduzierung ( $t_s$ ), Endzeit der Reduzierung ( $t_e$ ), Ausgangspegel bei 0 s ( $L_0$ ), bei 2 s ( $L_2$ ) und minimaler Ausgangspegel ( $L_{\min}$ ).**

### 2.4.1 Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen

Zur ausführlichen Analyse der Reaktion der Hörsysteme auf das Terzbandrauschen wurden die gemessenen Daten unter drei Aspekten betrachtet. In erster Linie wurde der durchschnittliche Verlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei jeweiligen Testbedingungen beobachtet. Damit konnte die Reaktion der Hörsysteme auf Terzbandrauschen im Laufe der Zeit nachgewiesen werden. Als zweites wurden die Durchschnittswerte von fünf Messungen der Anfangs- und Endzeit der Reduzierung des Ausgangspegels beobachtet. Diese Zeiten liefern die Erkenntnisse, wann sich das Verhalten der Hörgeräte verändert. Zum dritten wurde die maximale Änderung des Ausgangspegels errechnet, und zwar durch Subtrahieren des Ausgangspegels bei 0 s vom niedrigsten Ausgangspegel. Damit wurde der Durchschnittswert der fünf Messungen von der maximalen Änderung kalkuliert. Dadurch wurde die Intensität der Auswirkung von den Funktionselementen eingeschätzt.

### 2.4.2 Auswirkung der Funktionselemente bei Lautheitsskalierungen

Die Darbietungsdauer des Prüfsignals bei der Lautheitsskalierung wird meistens auf die Länge von 1 s oder 2 s wegen eingeschränkter Prüfungszeit und aus psychoakustischen Gründen eingestellt. Vor allem wurde die Signaldauer von 2 s bei den Studien von ACALOS (Brand & Hohmann, 2002), Oldenburger Hörflächenskalierung (Kollmeier, 1997) und Würzburger Hörfeldskalierung (Moser, 1996) verwendet. Im Hinblick auf typische Signaldauer der Lautheitsskalierung von 2 s, liefert der Unterschied der Ausgangspegel zwischen den Konfigurationen, wo die Funktionselemente ein- und ausgeschaltet waren, bei 2 s Informationen über die Auswirkung der Funktionselemente während der Darbietung des Testsignals bei Lautheitsskalierung.

Aus diesem Grund wurde die Differenz durchschnittlicher Ausgangspegel am Zeitpunkt 2 s bei fünf Messungen zwischen den Programmen (AUS und AN, AUS und SU) kalkuliert, um zu erfassen, wie stark die adaptiven Funktionselemente bei der Lautheitsskalierung während dieser Darbietungszeit auf das Testsignal reagieren.



## 3 Ergebnisse

Die Untersuchungen ergaben Reaktionen moderner Hörsysteme auf Terzbandrauschen. In folgenden Kapitel werden die Ergebnisse über die Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen und die Auswirkung der Funktionselemente auf Ausgangspegel bei 2 s aufgezeigt. Die herausgearbeiteten Informationen werden für jeweilige Hörsysteme beschrieben.

### 3.1 Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen

In diesem Teil geht es um die Ergebnisse der Reaktionen verschiedener Hörsysteme auf Terzbandrauschen. Insbesondere werden die Ergebnisse aus drei Aspekten, nämlich der Verlauf der Ausgangspegel, die Anfangs- und Endzeit der Reduzierung und die maximale Reduktion der Verstärkung, betrachtet.

#### 3.1.1 Phonak Bolero V90-M

##### Programm AUS

Abb. 13 zeigt Durchschnittswerte von fünf Messungen in Bezug auf den Zeitverlauf der Ausgangspegel während 45 s des Hörgerät V90 von Phonak beim Programm AUS bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.

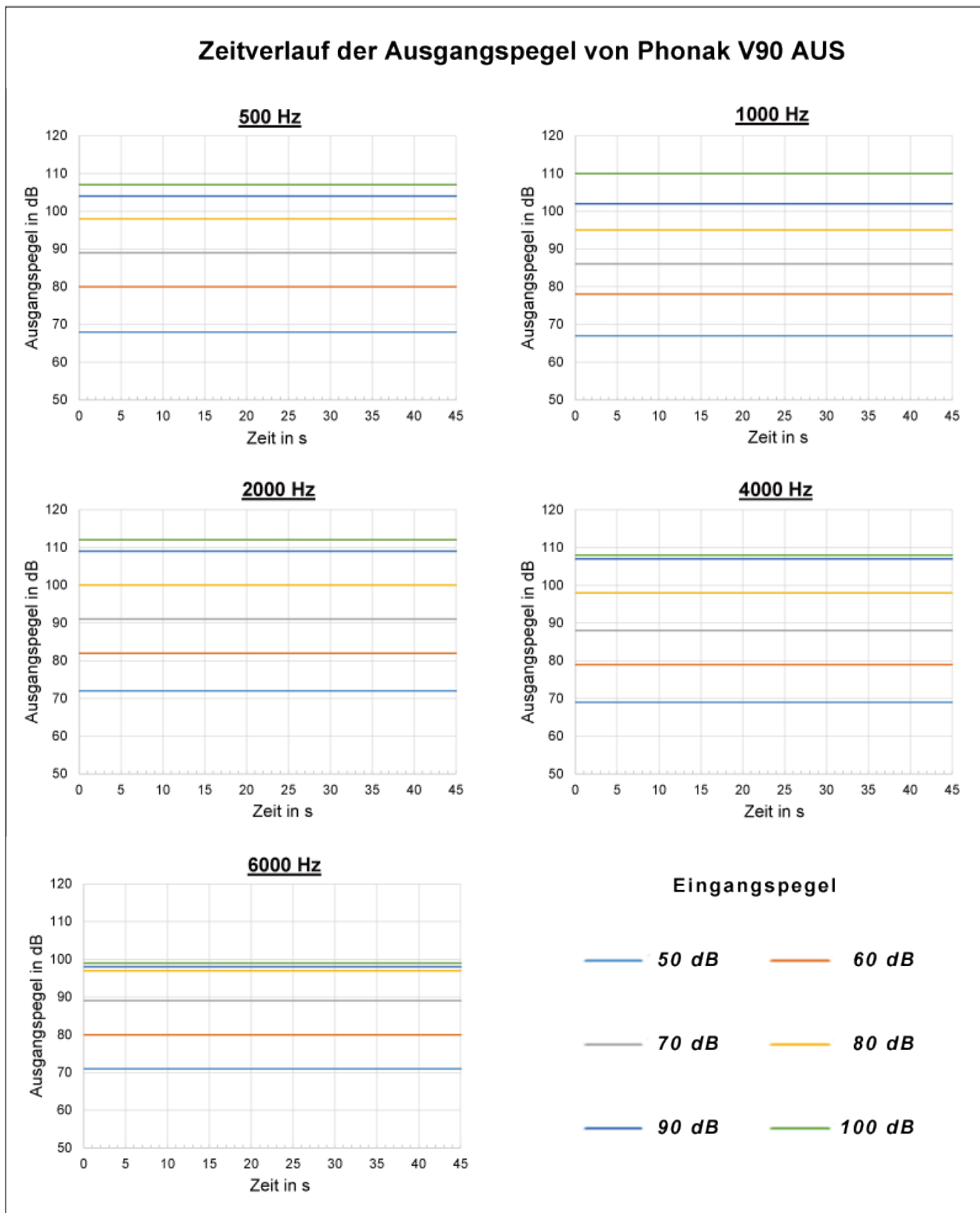
Beim Programm AUS betrugen die Differenzen zwischen Ein- und Ausgangspegel, nämlich die Verstärkungen, bei 0 s etwa 20 dB. Als Tendenz war zu erkennen, dass die Verstärkungen bei tiefen Frequenzen von 500 Hz und 1000 Hz niedriger waren als die bei hohen Frequenzen von 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz.

Beim Eingangspegel von 100 dB SPL erreichten die Verstärkungen nicht 20 dB. Die Ausgangspegel betrugen dabei rund 110 dB SPL. Folglich waren die Ausgangsdrücke beim Eingangspegel von 100 dB SPL ähnlich wie die beim Eingangspegel von

90 dB SPL. Vor allem bei 6000 Hz wiesen die Ausgangspegel bei beiden Eingangspegeln von 90 und 100 dB SPL den gleichen Wert von 100 dB SPL.

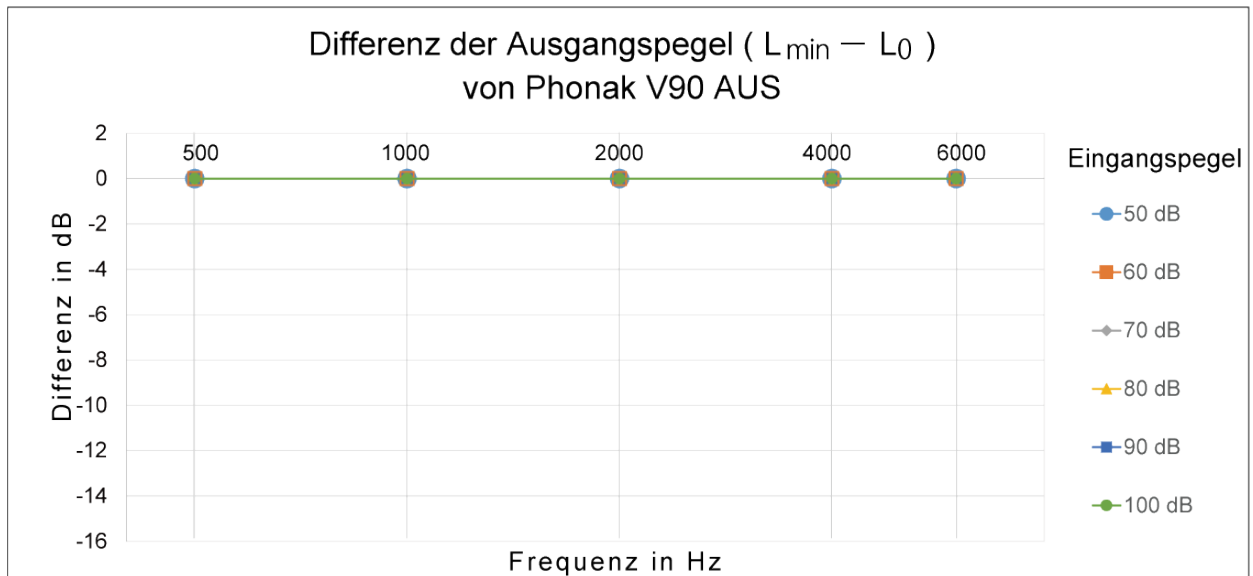
Beim Programm AUS änderten sich die Ausgangspegel nicht während der Messung bei allen Frequenzen und Eingangspegeln. Aufgrund keiner Änderungen der Ausgangspegel wurden keine Anfangs- und Endzeit der Reduzierung festgestellt.

Als ergänzende Informationen sind Abb. 45 bis Abb. 56 im Anhang beigelegt, die ausführliche Informationen über Anfangs- und Endzeiten der Reduzierung bei den jeweiligen Frequenzen und bei den jeweiligen Eingangspegeln für jedes Hörsystem liefern.



**Abbildung 13: Phonak V90 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Abb. 14 liefert Information über die Differenz zwischen dem minimalen Ausgangspegel und dem Ausgangspegel bei 0 s bei allen Frequenzen und Eingangspegeln. Diese Differenz liefert Informationen über die Reduktion der Verstärkung. Beim Programm AUS änderte sich kein Ausgangspegel während der Messung, daher waren minimale und maximale Ausgangspegel bei jeder Messung gleich. Mit anderen Worten bestand keine Differenz zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  bei allen Messungen.



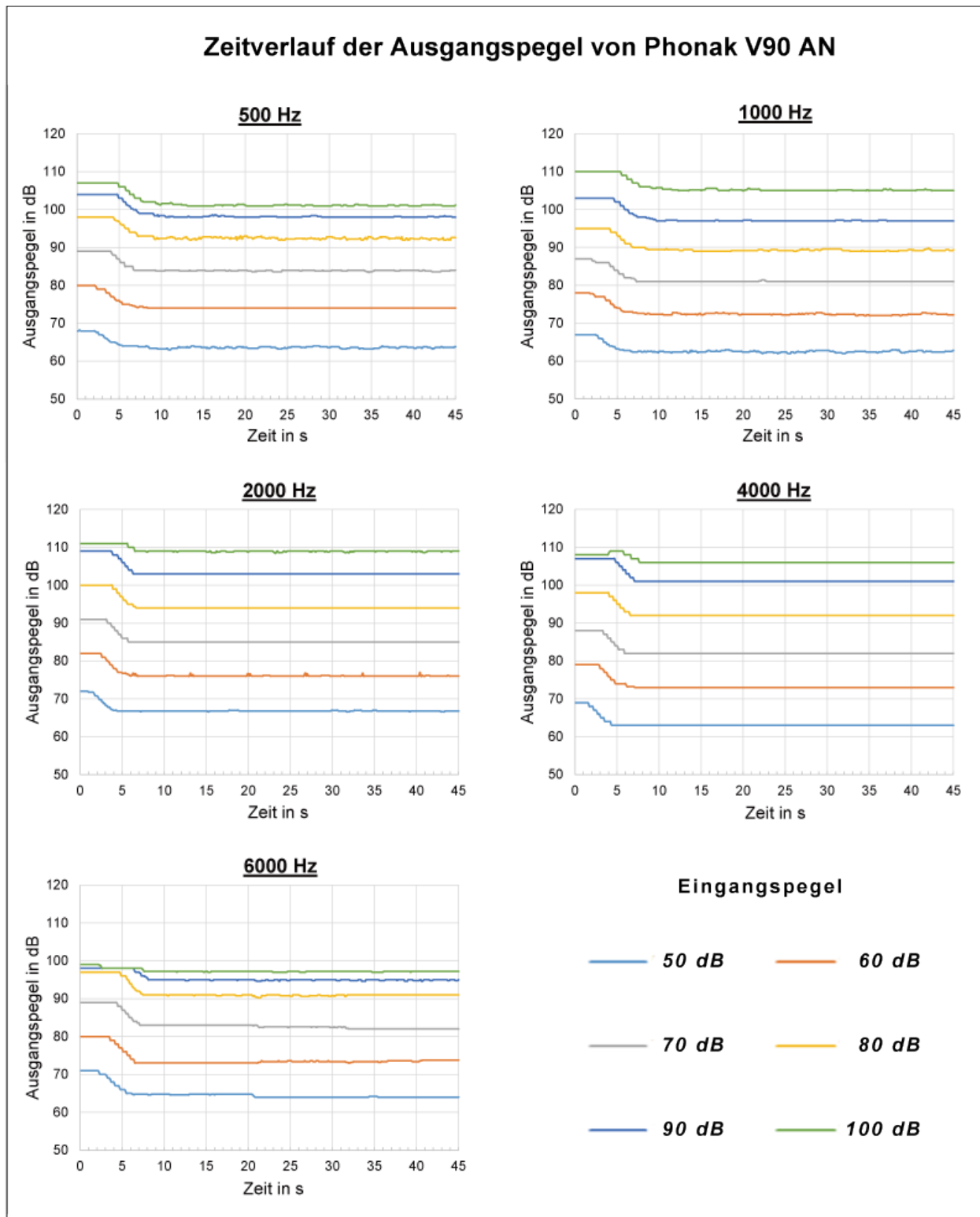
**Abbildung 14: Phonak V90 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

### Programm AN

Beim Programm AN betrugen die gleichen Verstärkungen bei 0 s mit Programm AUS, also ca. 20 dB (siehe Abb. 15). Auf der anderen Seite wurde die Verminderung der Ausgangspegel bei allen Frequenzen und Eingangspegeln erkannt. Die sich reduzierten Ausgangspegel stiegen während der Messung nicht mehr wieder an und blieben niedrig.

Während die Ausgangspegel bei 0 s bei Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL gleich waren, waren die Reduktionen der Ausgangspegel zwischen den Eingangspegeln unterschiedlich. Im Vergleich zur Reduktion beim Eingangspegel von 90 dB SPL wurden die Unterdrückungen der Ausgangspegel beim Eingangspegel von 100 dB SPL geringer. Bei 6000 Hz wiesen die Ausgangspegel bei 0 s bei jeweiligen Eingangspegeln zwischen 80 dB SPL und 100 dB SPL den gleichen Wert auf, allerdings gingen die Ausgangspegel bei höheren Eingangspegeln weniger zurück. Andererseits änderten sich nicht die Intervalle der Ausgangspegel zwischen hohen Eingangspegeln 90 dB SPL und 100 dB SPL an jeden Messzeitpunkten bei 500 Hz und bei 1000 Hz, bei den die Ausgangspegel bei 0 s klar unterschiedlich waren.

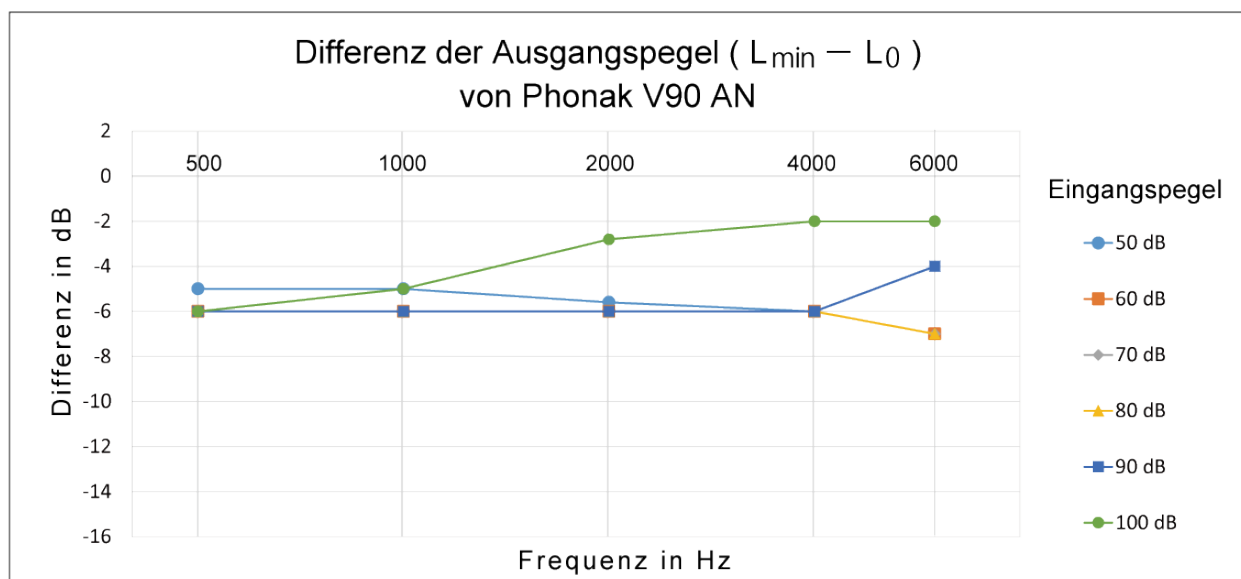
Die Unterdrückungen der Ausgangspegel betrugen nicht weniger als 2 dB, daher wurden die Anfangs- und Endzeiten der Reduzierung aufgenommen. Beim Programm AN fingen die Unterdrückungen ab 2 s bis spätestens 7 s an. Die Zeitdauer zwischen den Anfangs- und Endzeiten der Reduzierung lag zwischen 1,4 s und 3,3 s. Bei 2000 Hz und 4000 Hz traten die Anfangszeiten der Reduzierung früher auf, und die Differenzen zwischen  $t_s$  und  $t_e$  waren kleiner ( $t_s$ : 1,7 - 6 s und Differenzen zwischen  $t_s$  und  $t_e$ : 1,5 - 2,0 s). Bei diesen Frequenzen betrugen die Anfangszeiten der Reduzierung beim Eingangspegel von 50 dB SPL weniger als 2 s. Im Vergleich zu Frequenzen von 2000 Hz und 4000 Hz dauerten die Änderungen bei 500 Hz, 1000 Hz und 6000 Hz länger an (Differenzen zwischen  $t_s$  und  $t_e$ : 2,1 - 6,5 s). Betrachtet man die Eingangspegel, so sind die Anfangszeiten der Reduzierung bei lauterem Eingangspegeln später eingetreten und das führte zu den späteren Endzeiten der Reduzierung bei lauterem Eingangspegeln als bei leiseren. Infolgedessen ist ein Zusammenhang zwischen Eingangspegeln und Anfangszeiten der Änderung zu erkennen.



**Abbildung 15: Phonak V90 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Abb. 16 zeigt die Differenzen zwischen den minimalen Ausgangspegel und Ausgangspegel bei 0 s. Diese Differenzen entsprechen den Reduktionen der Verstärkungen. Laut dieser Auswertung waren die Differenzen zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  bei Eingangspegeln zwischen 50 dB SPL und 90 dB SPL mit Ausnahme von einem Eingangspegel von 100 dB SPL nicht unterschiedlich. Die Werte betrugen ca. 6 dB bis 4000 Hz. Bei einer Frequenz von 6000 Hz verkleinerte sich die Differenz bei einem Eingangspegel von 90 dB SPL, jedoch vergrößerten sich die Differenzen bei leisen und mittleren Eingangspegeln (Differenz bei Eingangspegeln von 50 – 80 dB SPL: 7 dB). Die Differenzen bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL bei niedrigeren Frequenzen (500 und 1000 Hz) waren etwa 1 dB geringer als bei anderen Eingangspegeln.

Bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL waren die Differenzen umso geringer, je höher die Frequenz war. Nämlich war die Differenz bei 500 Hz genauso wie bei anderen Eingangspegeln, jedoch waren die Differenzen bei hohen Frequenzen geringer als die bei anderen Eingangspegeln.



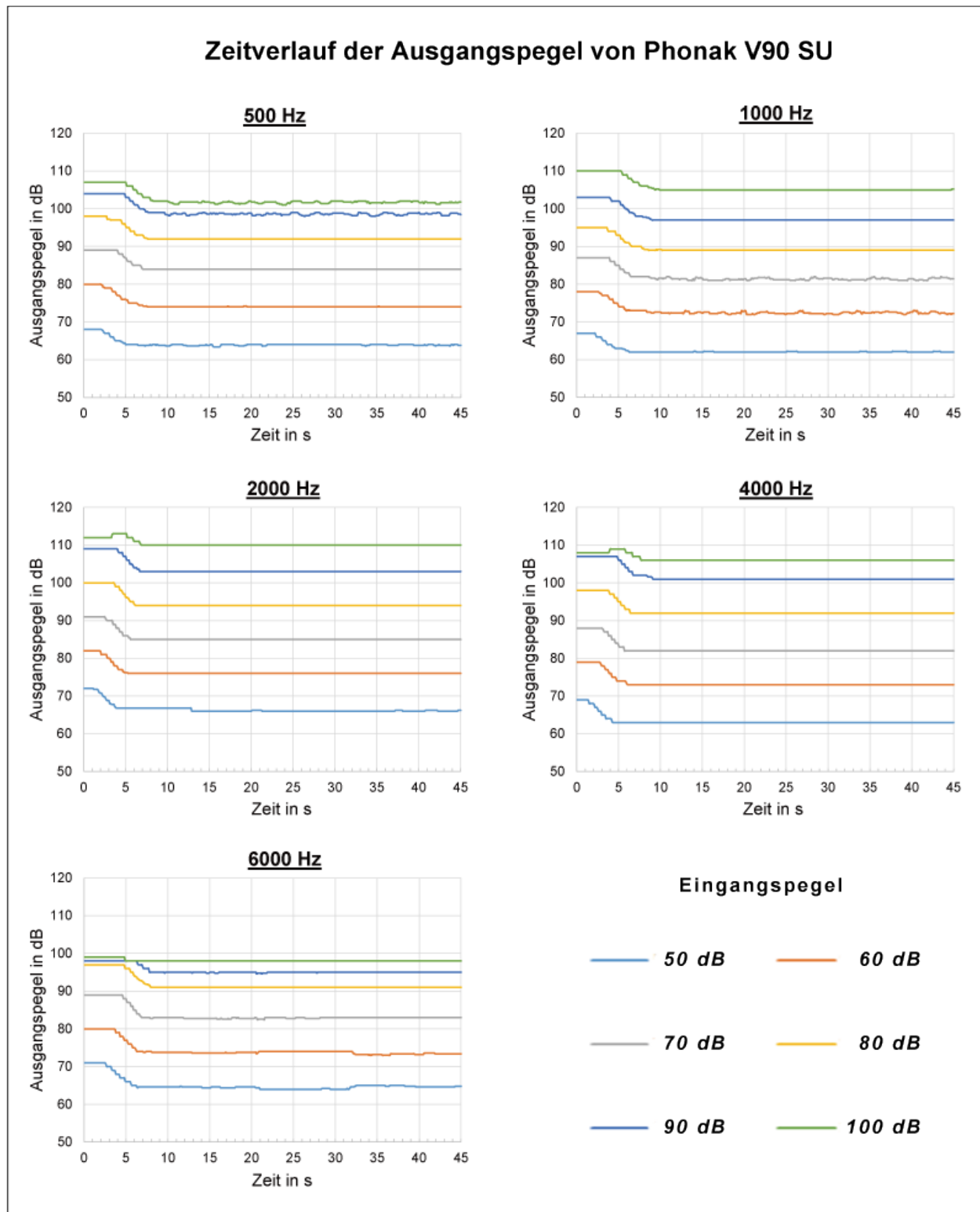
**Abbildung 16: Phonak V90 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

**Programm SU**

In Abb. 17 findet man das Verhalten des Phonak-High-End-Geräts mit dem Programm SU auf Terzbandrauschen. Bei allen Messungen des Programms SU wurde die Reduktion der Ausgangspegel nachgewiesen. Dabei war kein großer Unterschied der Reaktion des Hörgeräts von Phonak V90 zwischen den Programmen AN und SU zu erkennen.

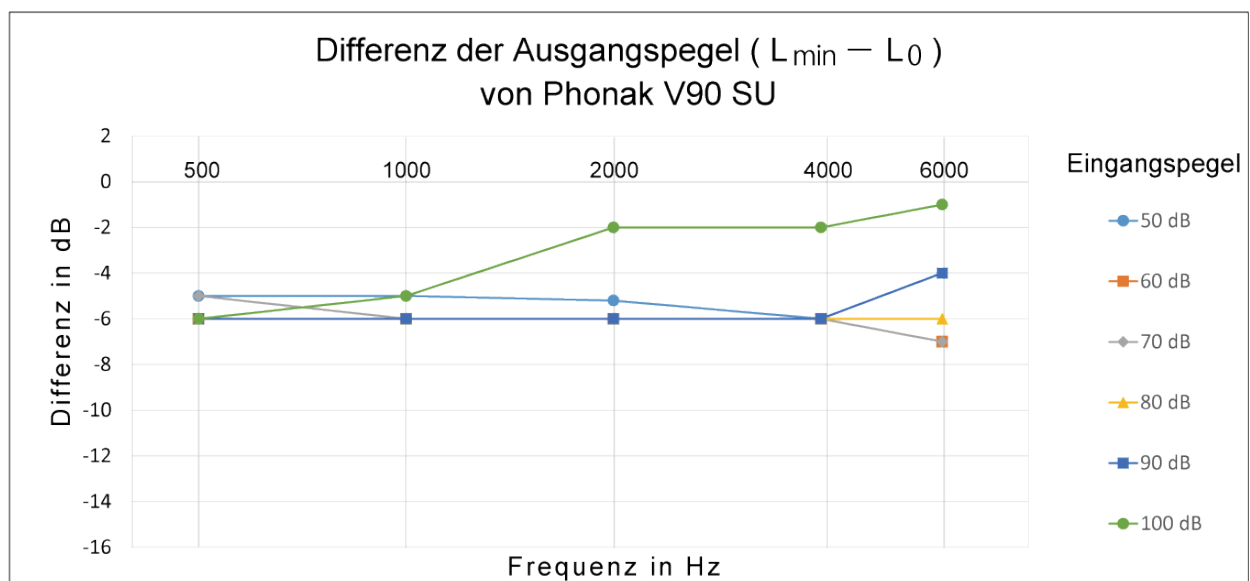
Die Ausgangspegel bei 0 s waren so hoch wie bei Programmen AUS und AN, also betrugen die Verstärkungen rund 20 dB. Wie bereits bei Programm AN erwähnt wurde, ist die Reduzierung der Ausgangspegel nicht wieder angestiegen. Die Zeiten der Reduktionen waren auch genauso wie beim Programm AN. Die Anfangs- und Endzeiten der Reduzierung bei 2000 Hz und 4000 Hz waren anders als bei 500 Hz, 1000 Hz und 6000 Hz. Das Hörsystem verzögerte die Anfangszeiten der Reduzierungen bei lauterem Eingangspegeln.





**Abbildung 17: Phonak V90 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

In Abb. 18 fällt auf, dass die Differenzen zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  beim Programm SU sowie auch beim Programm AN gleich waren, da die Reaktionen des Hörsystems beim Programm SU genauso waren wie die beim Programm AN. Die Reduktionen der Ausgangspegel waren bei Eingangspegeln zwischen 50 dB SPL und 90 dB SPL fast identisch. Sie betrugen ca. 6 dB. Bei der Reduzierung der Frequenz von 6000 Hz auf 4000 Hz sank die Wirkung der Unterdrückung bei einem Eingangspegel von 90 dB SPL von 6 dB auf 4 dB, wiederum zeigten sich die Differenzen bei den anderen Eingangspegeln nicht so niedrige Werte wie 6 dB. Beim Eingangspegel von 100 dB SPL fällt es auf, dass die Differenzen von 2000 Hz deutlich geringer waren.



**Abbildung 18: Phonak V90 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

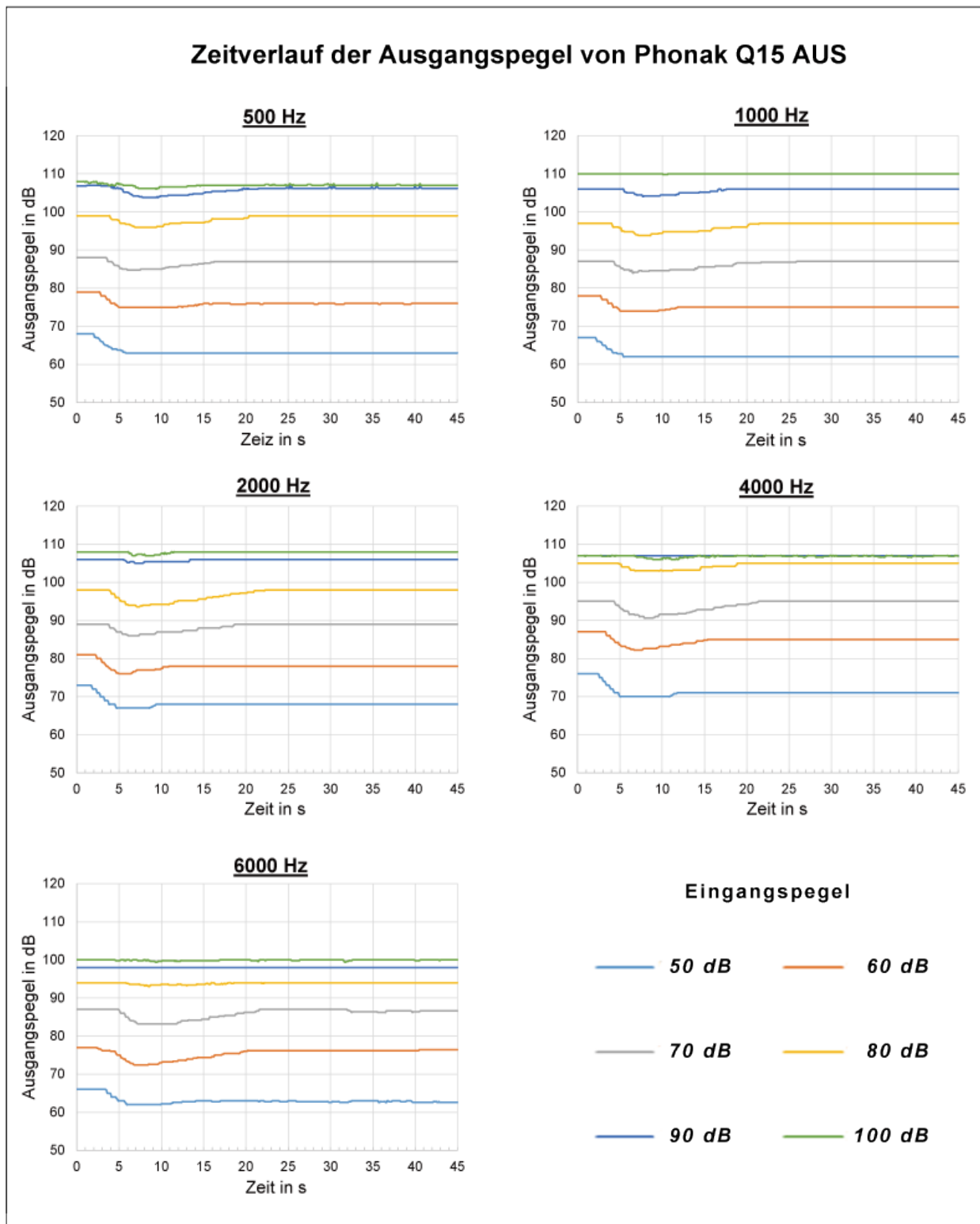
### 3.1.2 Phonak Baseo Q15-M

#### Programm AUS

Die Differenz zwischen Ausgangspegel und Eingangspegel bei 0 s des Phonak Q15 beträgt mehr als 10 dB. Bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL dagegen betrug die Verstärkung bei 0 s gegebenenfalls nicht mehr als 10 dB (siehe Abb. 19). Aber die Verstärkungen bei gleichen Eingangspegel waren unterschiedlich je nach Frequenz. Die Verstärkungen bei 4000 Hz waren am höchsten, wie zum Beispiel betrug die Verstärkung bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL 26 dB. Dagegen lagen die Verstärkungen bei 500 Hz, 1000 Hz und 6000 Hz unterhalb von 20 dB. Die Differenzen der Ausgangspegel bei 0 s zwischen den Eingangspegeln waren groß und betrugen gegebenenfalls 10 dB. Die Verstärkungen bei 0 s waren bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL niedrig, dabei betrugen die Ausgangspegel bei 0 s höchstens 110 dB SPL. Die Ausgangspegel bei 0 s lagen bei 6000 Hz bei beiden Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL nur bei 100 dB SPL. Mit Ausnahme von 1000 Hz waren die Unterschiede der Ausgangspegel bei 0 s zwischen den Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL kleiner als die Differenz der Ausgangspegel zwischen den Eingangspegeln von 80 dB SPL und 90 dB SPL. Bei mehreren Messungen waren die Verstärkungen beim Eingangspegel von 90 dB SPL niedriger als bei dem von 80 dB SPL.

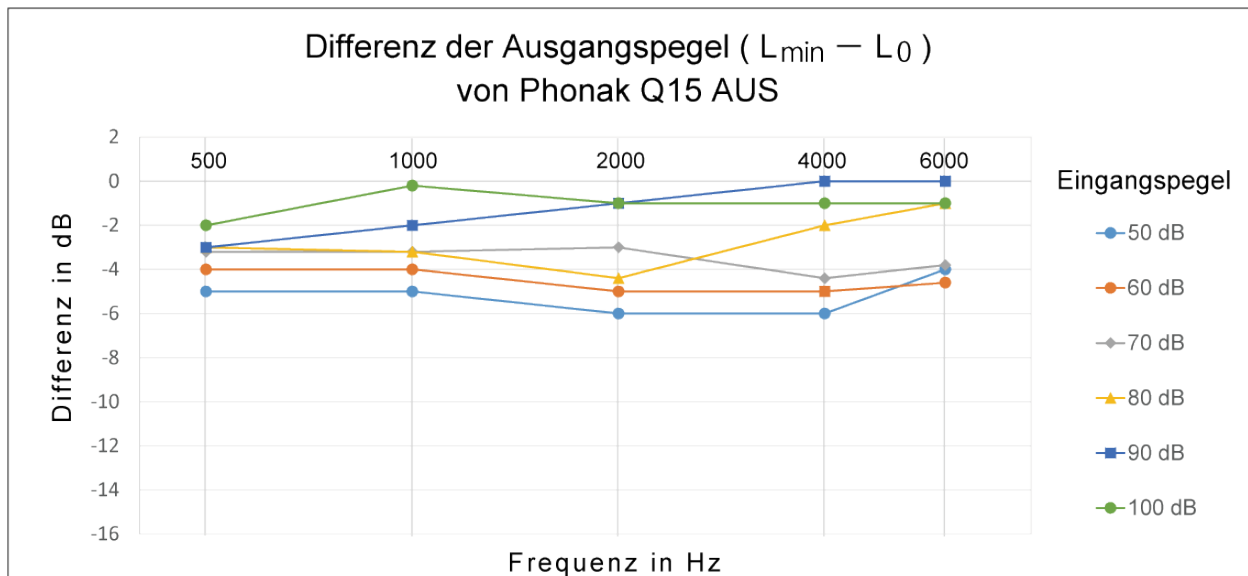
Auffällig war die Reduktion der Ausgangspegel auch beim Programm AUS bei allen Frequenzen, obwohl keine große Reduktion bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL bestand. Diese Reduktionen verkleinerten sich im Laufe der Zeit. Das bedeutet, dass die Ausgangspegel sanken, jedoch stiegen sie danach oft wieder an. Hingegen waren diese Wiederanstiege bei niedrigen Eingangspegeln geringer oder nicht größer als die bei mittleren Eingangspegeln.

Anfangs- und Endzeiten der Reduzierungen wurden wegen den kleinen Reduktionen bei hohen Eingangspegeln nicht beobachtet. Wenn die Anfangs- und Endzeit der Reduzierungen gemessen werden konnten, betrugen die Anfangszeiten der Reduzierung 2 s bis 5 s und die Endzeiten der Reduzierungen lagen zwischen 4 s und 6 s. Die Anfangszeiten der Reduzierungen sind bei den niedrigeren Eingangspegeln kleiner. Die Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$  lag bei 0,7 s bis 2 s. In Rahmen der gemessenen Daten startete die Reduzierung bei leiseren Eingangspegeln früher als bei lauterem Eingangspegel.



**Abbildung 19: Phonak Q15 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Abb. 20 zeigt, dass die Differenzen zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  mit Ausnahme von einem Eingangspegel von 90 dB SPL bei hohen Frequenzen von 4000 Hz und 6000 Hz lagen. Die Reduktionen der Verstärkungen betrugen am größten 6 dB. Je niedriger der Eingangspegel, desto stärker wurde der Ausgangspegel gesenkt. Betrachtet man die Unterschiede der Reduktionen zwischen den Frequenzen, so lagen sie zwischen 1 dB und 4 dB. Die Verringerungen bei hohen Frequenzen von 2000 Hz und 4000 Hz bei Eingangspegeln von 50 dB SPL und 60 dB SPL waren um 1 dB mehr als bei 500 Hz und 1000 Hz. Während die Reduktionen der Verstärkungen bei hohen Frequenzen bei lauten Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL 1 dB bis 2 dB kleiner waren als die der bei einer Frequenz von 500 Hz. Die Differenz zwischen den Frequenzen war am größten bei einem Eingangspegel von 80 dB SPL, also betrug die Reduktion bei 2000 Hz 4,4 dB aber bei 6000 Hz 1 dB.



**Abbildung 20: Phonak Q15 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

**Programm AN**

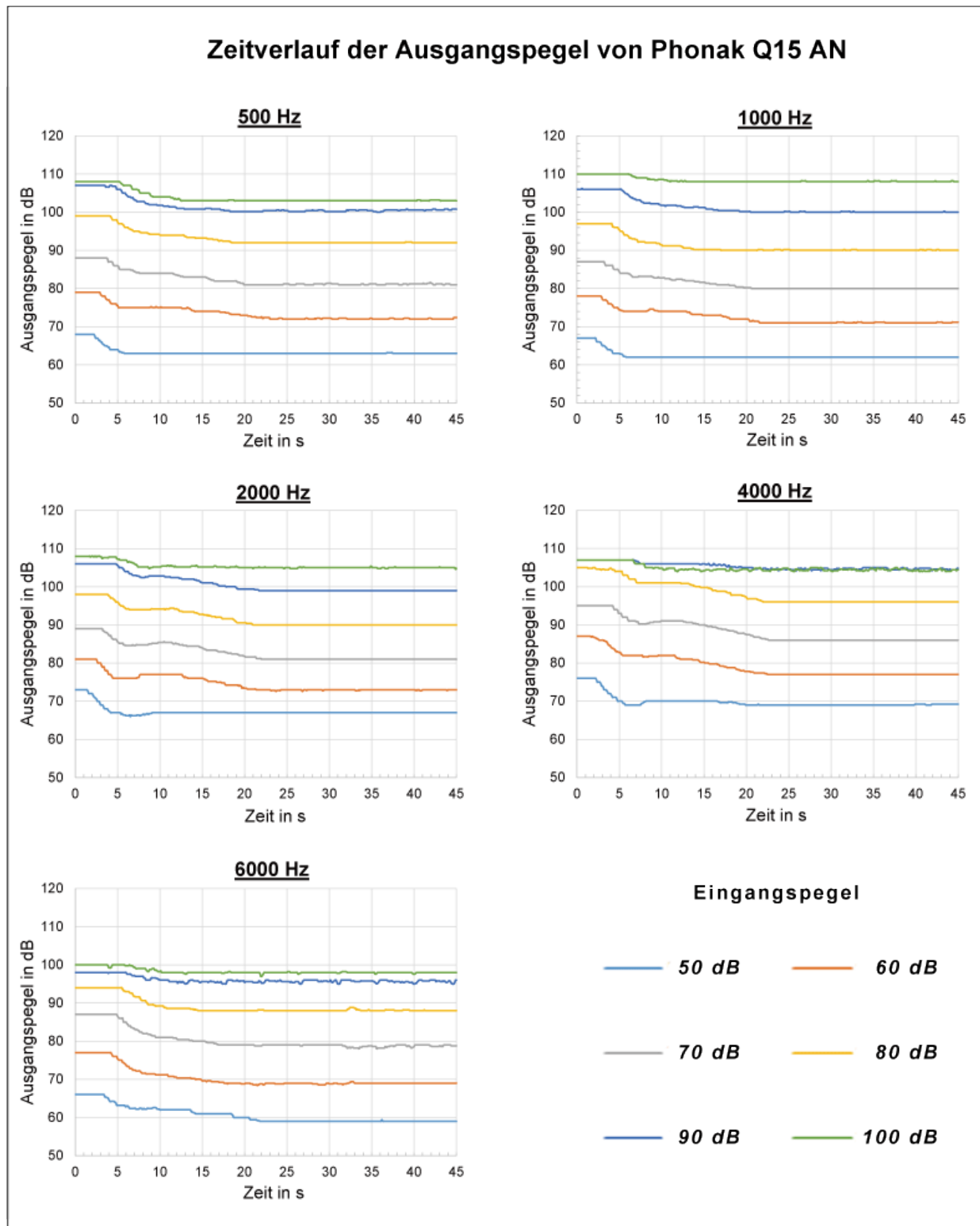
Beim Programm AN von Phonak Q15 ergaben sich die Ausgangspegel bei 0 s so hoch wie beim Programm AUS (siehe Abb. 21). Im Gegensatz zum Programm AUS veränderten sich die Ausgangspegel auch bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL. Daher wurden die Verstärkungen bei allen Messbedingungen gesenkt. Die Differenzen der Ausgangspegel zwischen Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL sind im Laufe der Zeit bei 500 Hz und 6000 Hz konstant geblieben aber vergrößerten sich während den Messungen bei 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz. Das Hörgerät mit dem Programm AN verhielt sich ähnlich wie beim Eingangspegel von 50 dB SPL wie bei dem Programm AUS, mit Ausnahme von 6000 Hz. Bei 6000 Hz reduzierte sich der Ausgangspegel bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL stärker als beim Programm AUS, genauso wie bei anderen Eingangspegeln. Beim Programm AN wurde kein Wiederanstieg der Verstärkung beobachtet

Die Anfangs- und Endzeiten der Reduzierungen konnten gemessen werden. Die Anfangszeiten der Reduzierungen starteten bei leisen und mittleren Eingangspegeln, bei den die Anfangs- und Endzeiten der Reduzierungen auch beim Programm AUS aufgenommen werden konnten, genauso wie bei Programm AUS, also 2 s bis 5 s. Auf der anderen Seite passierten die Verringerungen der Verstärkungen auch bei den lauten Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL, bei den sich die Ausgangspegel beim Programm AUS nicht reduzierten. Dabei waren die Anfangszeiten der Reduzierungen schon eher später als bei leiseren Eingangspegeln, und zwar lagen die Anfangszeiten der Reduzierungen zwischen 5 s und 7 s. Bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL wurden die Endzeiten der Reduzierung mit Ausnahme von 6000 Hz offensichtlich früher beobachtet, also spätestens bei 5 s. Bei anderen Eingangspegeln betrugen die Endzeiten mehr als 10 s, bis sogar 20 s. Je höher der Eingangspegel, desto später starteten die Änderungen der Ausgangspegel.

Bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 80 dB SPL wurden die zweistufigen Reduzierungen des Öfteren beobachtet. Die ersten Stufen der Verringerungen wiesen die Reduktion und Anfangszeit sowie beim Programm AUS auf. Die zweite Stufe der Reduzierungen verringert langsamer die Ausgangspegel als die erste Stufe. Allerdings wurde die zweite Stufe der Reduktion bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL nicht

beobachtet, und die Ausgangspegel hatten dabei eine kürzere Zeitdauer der Verringerung.

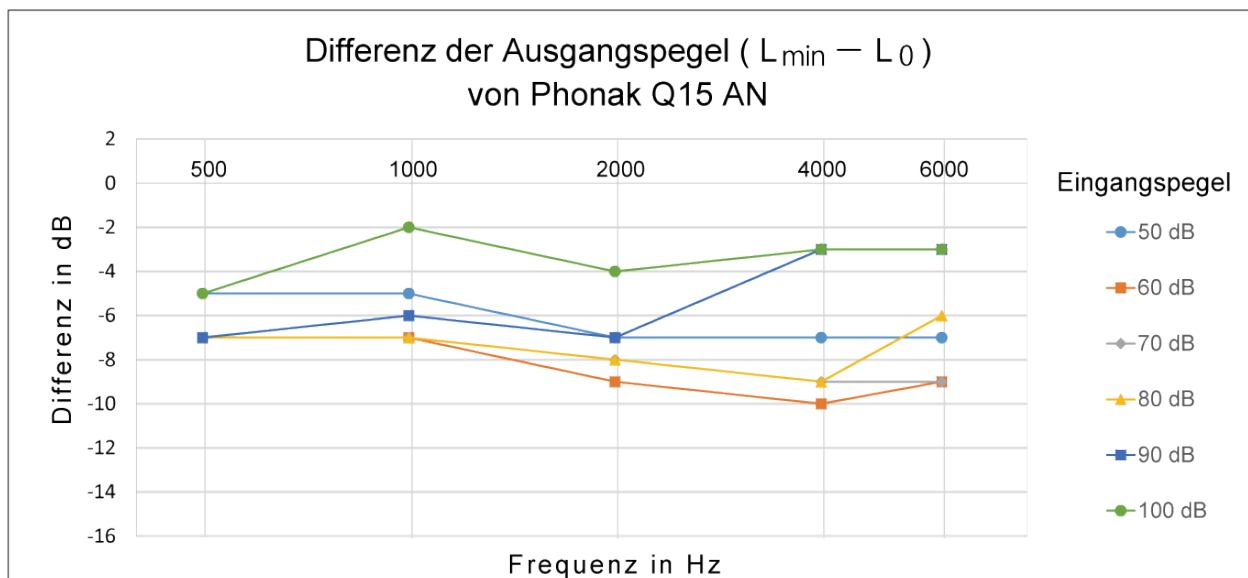
Obwohl die Reduktionen der Ausgangspegel bei 500 Hz und 1000 Hz bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 80 dB SPL gleich waren, zeigt die Geschwindigkeit eine höhere Reduzierung mit den steigenden Eingangspegeln. Schließlich traten die Endzeiten der Reduzierungen mit den steigenden Eingangspegeln auch früher auf. Dagegen waren die Geschwindigkeiten der Reduzierungen oberhalb von 2000 Hz bei mittleren Eingangspegeln (60 – 80 dB SPL) fast gleich, wenn aber die Reduktionen der Verstärkung gleich waren, dann verkürzte sich die Dauer mit abnehmenden Verringerungen.



**Abbildung 21: Phonak Q15 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**



In Abb. 22 ist zu sehen, dass die Reduktion beim Programm AN bei allen Frequenzen und Eingangspegeln bei mehr als 2 dB lag. Die Verringerung bei einem Eingangspegel von 100 dB betrug am stärksten 5 dB und war niedriger als bei anderen Eingangspegeln. Bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL wurde die zweitschwächste Reduktion des Ausgangspegels aufgenommen und die Messdaten lagen zwischen 5 und 7 dB. Diese Werte entsprechen den Reduktionen beim Programm AUS. Bei mittleren Eingangspegeln gingen die Ausgangspegel stärker zurück, sodass die Reduktionen am stärksten bei 10 dB lagen. Die Auswirkungen waren zwischen den Frequenzen unterschiedlich. Das heißt, dass die Unterdrückungen der Verstärkung bei Eingangspegeln bis 80 dB SPL bei hohen Frequenzen (ab 2000 Hz) höher waren.



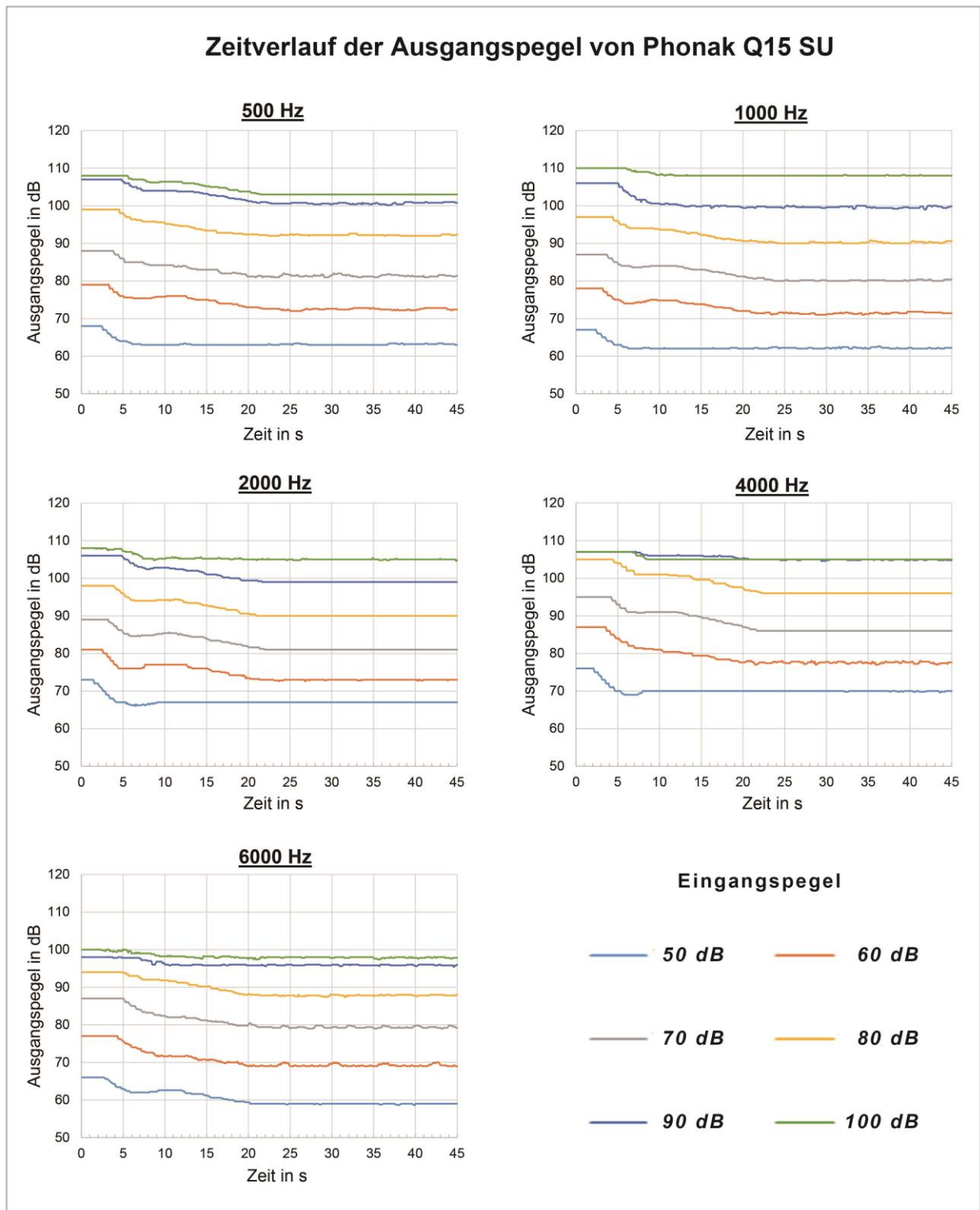
**Abbildung 22: Phonak Q15 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

---

**Programm SU**

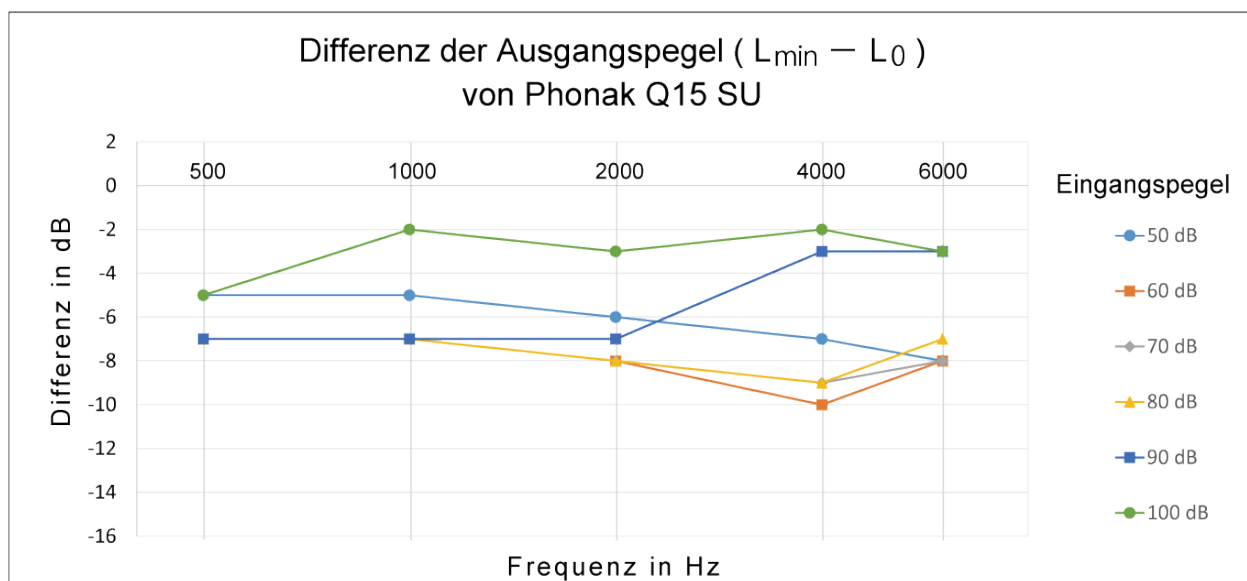
In Abb. 23 fällt es auf, dass keine großen Unterschiede zwischen den Programmen SU und AN bei meisten Messungen bestanden. Auch beim Programm SU verringerten sich die Ausgangspegel bei den jeweiligen Frequenzen und Eingangspegeln. Die zweistufigen Reduzierungen wurden bei mittleren Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 80 dB SPL gemessen, die zweite Verringerung dagegen wurden bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL nicht beobachtet.

Die Anfangs- und Endzeiten der Reduzierungen waren zwischen Eingangspegeln unterschiedlich. Je höher der Eingangspegel, desto später starteten die Änderungen der Ausgangspegel. Die Anfangszeiten der Änderungen lagen zwischen 1,9 s und 8 s.



**Abbildung 23: Phonak Q15 SU: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Beim Programm SU erschienen die Eigenschaften der Unterdrückung der Verstärkungen deutlicher (siehe Abb. 24). Dabei waren die Differenzen zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  beim Programm SU so hoch wie beim AN. Die Reduktionen waren bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL am niedrigsten. Auch bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL waren die Verringerungen im Vergleich zum mittleren Eingangspegel kleiner, also um etwa 2 dB. Bei 500 Hz und 1000 Hz senkten sich die Ausgangspegel bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 90 dB SPL um die gleichen Werte (-7dB). Bis zum Eingangspegel von 80 dB SPL wären die Differenzen bei hohen Frequenzen größer als bei niedrigen Frequenzen von 500 Hz und 1000 Hz.

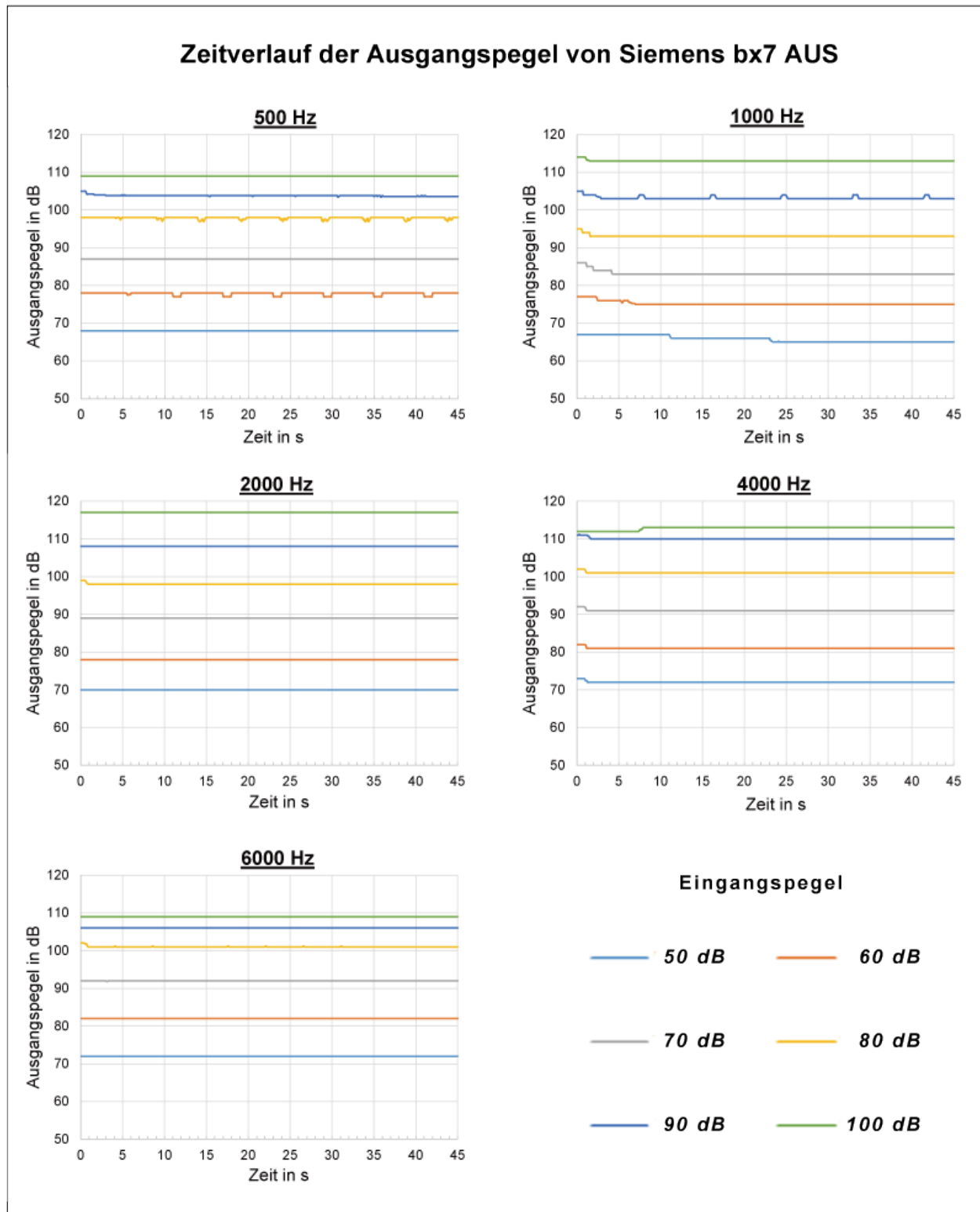


**Abbildung 24: Phonak Q15 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

**3.1.3 Siemens Motion SX binax7****Programm AUS**

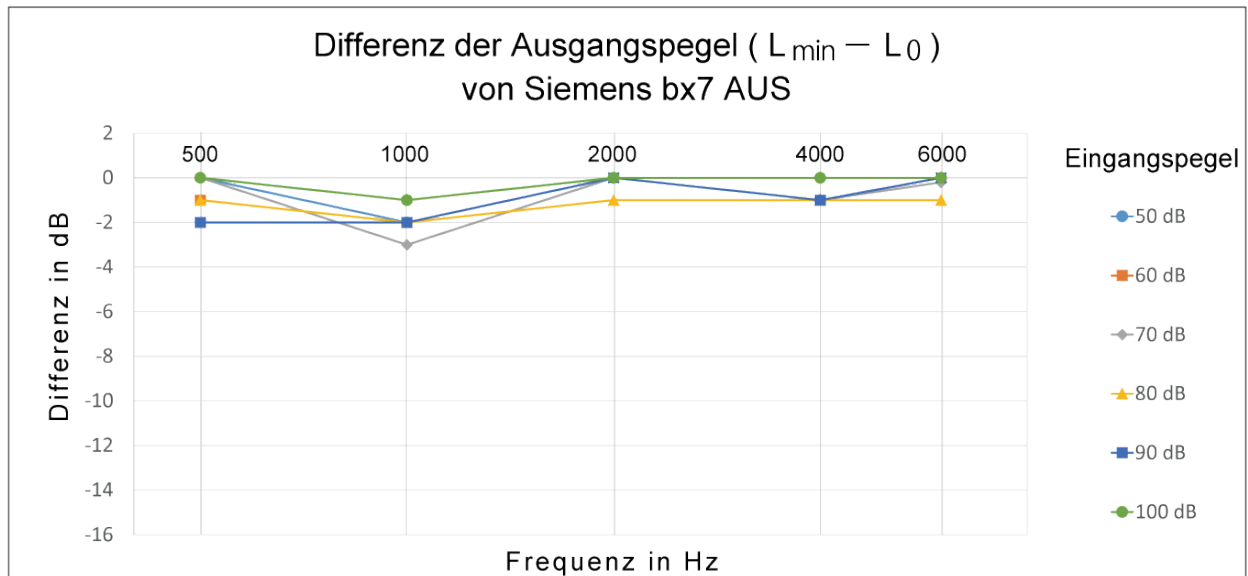
Die Verstärkungen bei 0 s betrugen etwa 20 dB (siehe Abb. 25). Dabei bestand eine Tendenz, dass die Ausgangspegel bei 0 s im Tieftonbereich bei gleichen Eingangspegeln eher niedriger waren als im Hochtonbereich. Bei 500 Hz und 1000 Hz lagen die Verstärkungen höchstens bei 18 dB, dagegen betrugen die Verstärkungen bei hohen Frequenzen bei mehreren Messungen mehr als 20 dB. Bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL waren die Verstärkungen niedriger als bei anderen Eingangspegeln, insbesondere bei 500 Hz und 6000 Hz. Infolgedessen waren die Unterschiede der Ausgangspegel bei Eingangspegeln zwischen 90 dB SPL und 100 dB SPL vor allem bei hohen Frequenzen kleiner als die der zwischen niedrigeren Eingangspegeln von 80 dB SPL und 90 dB SPL.

Bemerkenswert ist, dass Rückgänge der Ausgangspegel bei mehreren Frequenzen und Eingangspegeln beobachtet wurden. Die in dieser Arbeit definierte Anfangszeit der Reduzierung von Ausgangspegeln war trotzdem nur bei tiefen Frequenzen zu erkennen, da die Verringerung bei hohen Frequenzen unterhalb 1 dB war. Die messbare Anfangszeit lag zwischen 0.4 s und 11 s.



**Abbildung 25: Siemens bx7 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Aus Abb. 26 erkennt man, dass es Reduktionen bei mehreren Messungen gab. Die größte Verringerung der Ausgangspegel betrug bei 1000 Hz bei einem Eingangspegel von 70 dB SPL, und zwar 3 dB. Die Reduktionen bei anderen Messungen waren höchstens 2 dB. Die Verminderung war tendenziell bei niedrigen Frequenzen stärker als bei hohen Frequenzen. Bei den Eingangspegeln von 80 dB SPL und 90 dB SPL bei 500 Hz reduzierten sich die Verstärkungen stärker als bei anderen Eingangspegeln.



**Abbildung 26: Siemens bx7 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

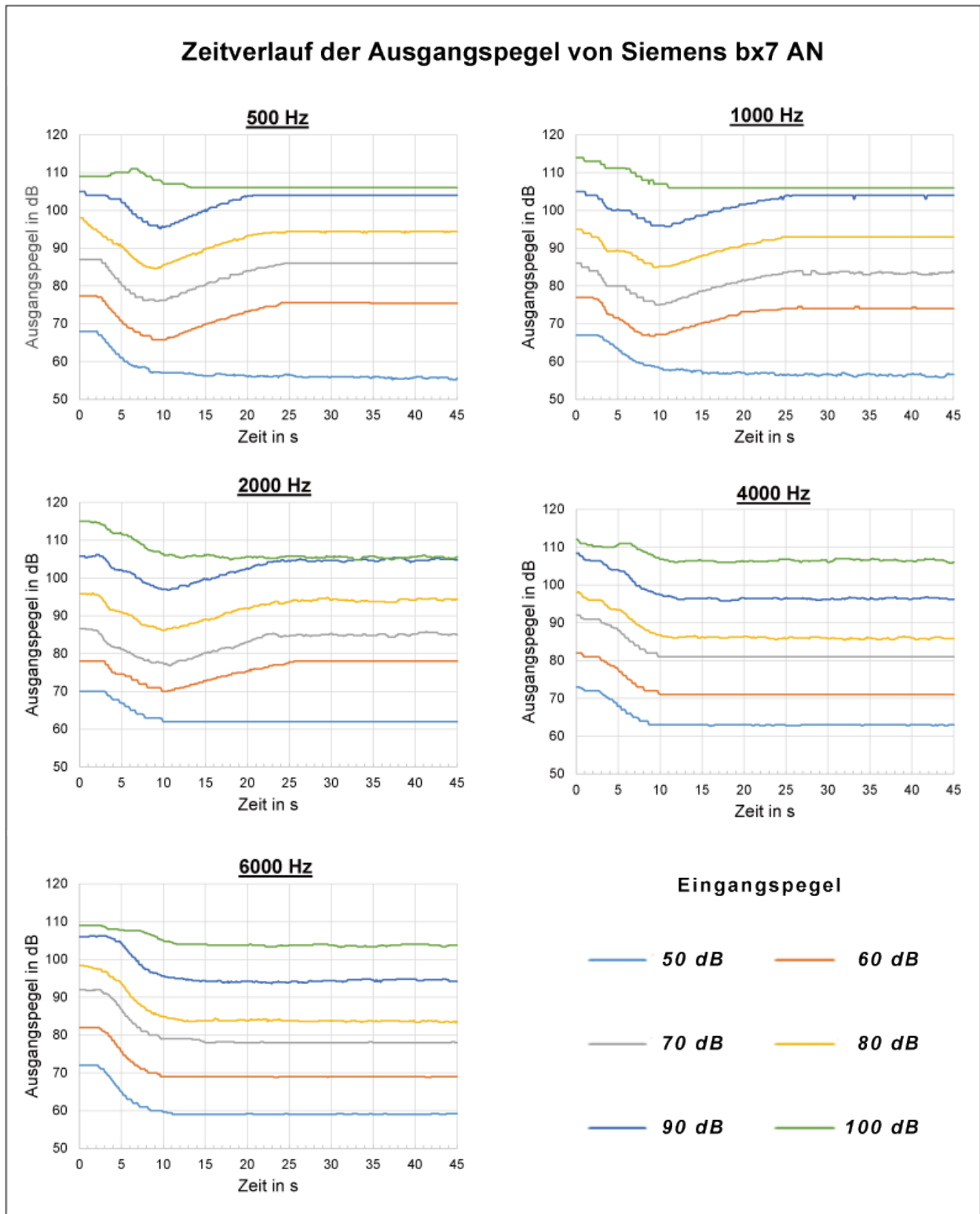
**Programm AN**

In der Untersuchung des Programms AN wurde ein Rückgang des Ausgangspegels während der Messung bei allen Frequenzen und allen Eingangspegeln festgestellt (siehe Abb. 27). Ein Unterschied des Verhaltens des Hörgeräts gab es zwischen den Frequenzen. Bis 2000 Hz wurden die Ausgangspegel bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 90 dB SPL einmal gesenkt und danach wieder gesteigert. Der Wiederanstieg passierte bei etwa 10 s. Erneute Anstiege dagegen waren bei 4000 Hz und 6000 Hz nicht zu beobachten.

Eine Besonderheit war, dass die Ausgangspegel bei 0 s bei hohen Frequenzen, insbesondere 2000 Hz und 4000 Hz, bei hohen Eingangspegeln im Vergleich zu Programm AUS bei entsprechenden Messbedingungen von Anfang an niedriger waren. Die Differenzen der Ausgangspegel bei 0 s zwischen den Programmen AUS und AN lagen zwischen 2 dB und 4 dB.

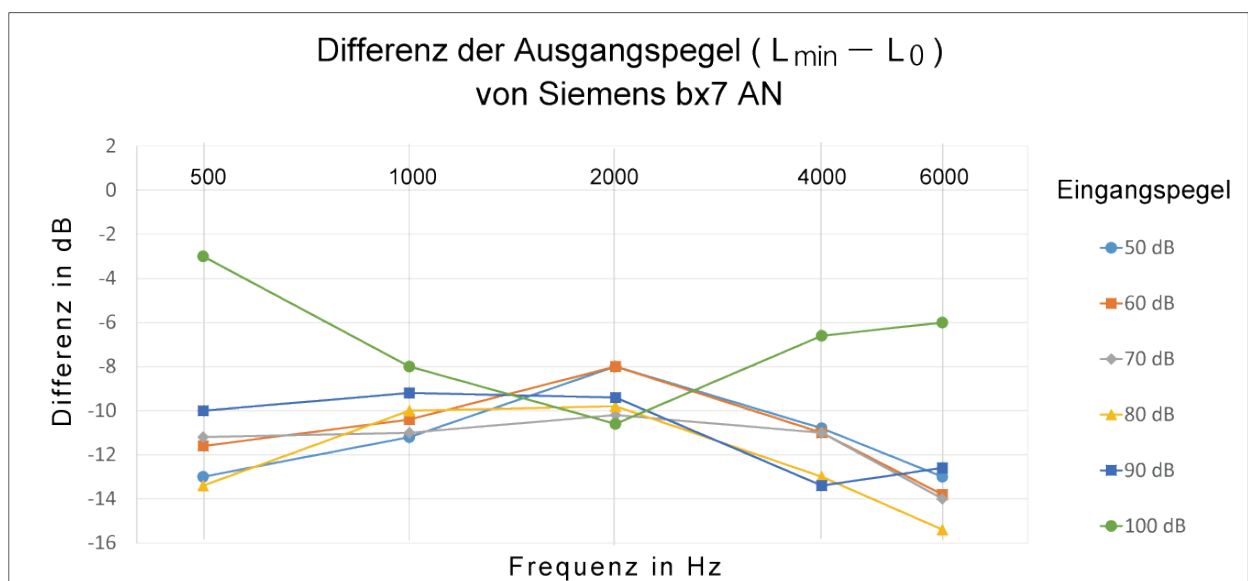
Die Änderungen der Verstärkungen starteten zwischen 0,4 s und 4 s, mit Ausnahme vom Eingangspegel 100 dB SPL bei 500 Hz. Die Endzeiten der Reduzierung lagen zwischen 7 s und 13,6 s. Bei 500 Hz fingen die Rückgänge der Ausgangspegel bei Eingangspegeln bis 70 dB SPL später (über 2 s) an. Andererseits starteten die Reduzierungen bei hohen Eingangspegeln von 80 dB SPL und 90 dB SPL sofort nach der Darbietung des Testsignals (0,6 s und 0,8 s). Die Dauer, nämlich die Differenz zwischen den Anfangs- und Endzeiten der Reduzierung, betrug 4 – 5 s, wenn die Anfangszeit der Änderung spät war. Dagegen war die Dauer bei Eingangspegeln von 70 dB SPL und 80 dB SPL länger (7 s), bei den die Reduzierungen früher begannen. Daher waren die Endzeiten der Reduzierungen ähnlich bei jeweiligen Eingangspegeln. Die gleiche Tendenz war auch bei 1000 Hz zu erkennen. Bei 2000 Hz startete die Verringerung der Ausgangspegel später bei niedrigen Eingangspegeln. Aber die Abweichung der Anfangszeiten zwischen den Eingangspegeln war nicht so groß wie bei niedrigen Frequenzen. Bei 4000 Hz begann die Reduzierung innerhalb 1 s. Die Endzeit der Änderung war dabei desto später, je höher der Eingangspegel war. Bei 6000 Hz waren die Anfangszeiten der Änderung später als bei 4000 Hz und die Geschwindigkeit der Reduzierung bei hohen Eingangspegeln war geringer als bei niedrigen Eingangspegeln.





**Abbildung 27: Siemens bx7 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Die Reduktionen der Ausgangspegel lagen bei mindestens 3 dB (siehe Abb. 28). Diese Reduktionen waren beim Eingangspegel von 100 dB SPL bei 500 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz deutlich geringer als bei anderen Frequenzen und Eingangspegeln. Sogar bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL betrug der Rückgang der Ausgangspegel 12,6 dB bei 2000 Hz. Bei anderen Eingangspegeln reduzierten sich die Ausgangspegel deutlich, und die Abweichungen zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  betrugen mindestens 8 dB, meistens sogar 10 dB bis 14 dB. Die größte Reduktion wurde bei 6000 Hz bei einem Eingangspegel von 80 dB SPL festgestellt, und zwar 15,4 dB. Bis zum Eingangspegel von 90 dB SPL wurden die Reduktionen bis 2000 Hz schwächer und ab 2000 Hz stärker.



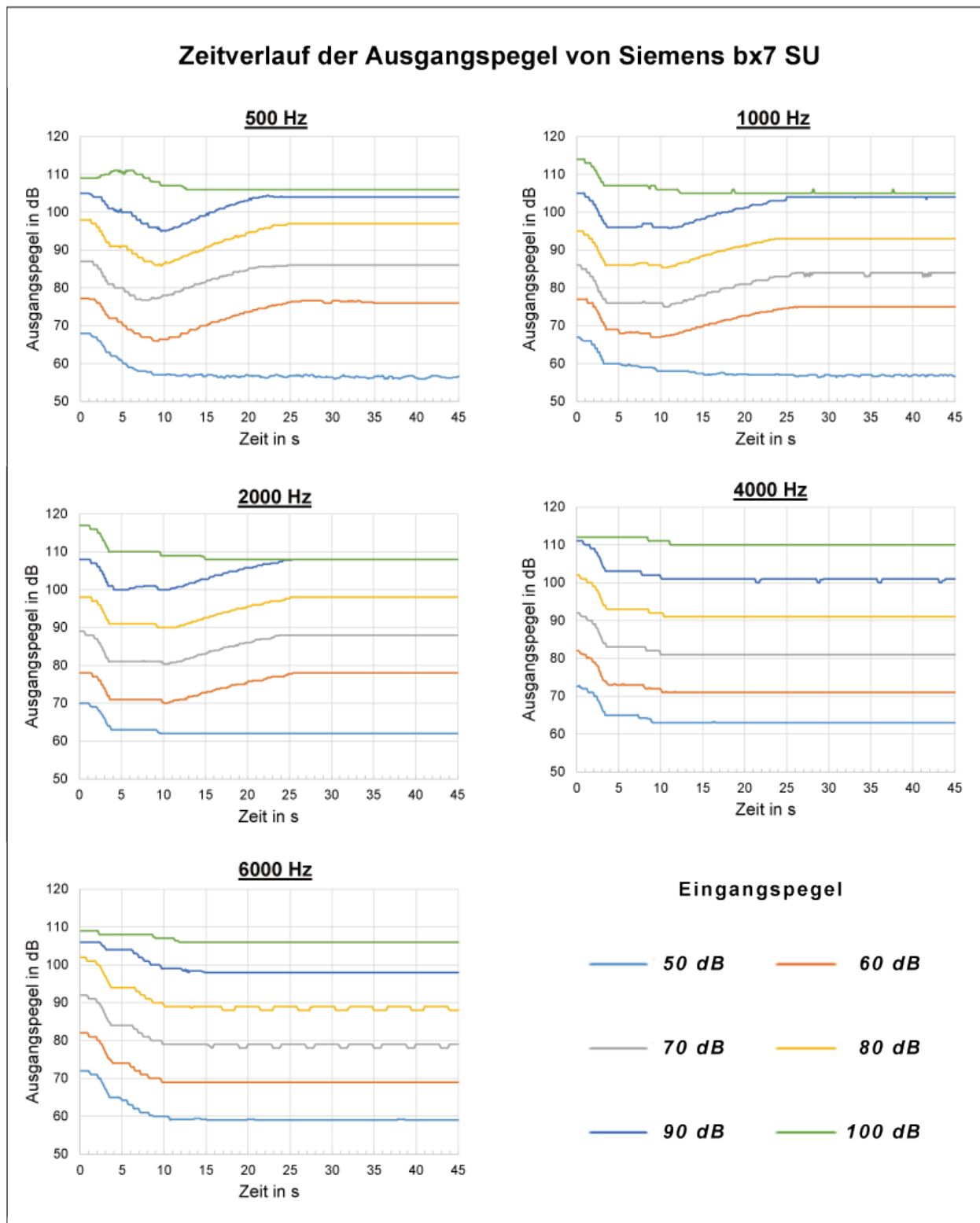
**Abbildung 28: Siemens bx7 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

**Programm SU**

Das Verhalten bei Programm SU stimmte bei mehreren Messungen mit Programm AN überein (siehe Abb. 29). Allerdings war es nicht immer so gleich wie bei Programm AN. Es gab keine Abweichung der Ausgangspegel bei 0 s zwischen dem Programm AUS und SU, hingegen waren die Ausgangspegel bei 0 s bei Programm AN bei einigen Messungen niedriger als bei Programm AUS.

Darüber hinaus zeigte sich, dass der Verlauf der Reduzierung bei Programm SU anders war als bei Programm AN. Die Diagramme von Programm AN zeigen V-förmige Linien der Ausgangspegel. Die Reduzierung bei Programm SU war am Anfang langsamer, danach ging der Ausgangspegel stark zurück. Schließlich weist die Grafik bei Programm SU eine bogenförmige Senke auf. Trotz unterschiedlichem Verhalten der Reduzierung zwischen den Programmen AN und SU startete der Wiederanstieg bei Programm SU am fast gleichen Zeitpunkt (etwa 10 s) wie bei Programm AN. Bei 500 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz gingen die Ausgangspegel zuerst stark und danach langsam zurück, sodass ein zweistufiger Rückgang zu erkennen war.

Die Anfangszeiten der Reduzierung betrugen bei mehreren Messungen unterhalb von 2 s, gegebenenfalls sogar 0,5 s. Die Unterdrückung der Verstärkungen begann bei Programm SU früher als bei Programm AN. Die Endzeiten der Reduzierung lagen unterhalb von 10 s, in der Regel zwischen 3 s und 8 s.

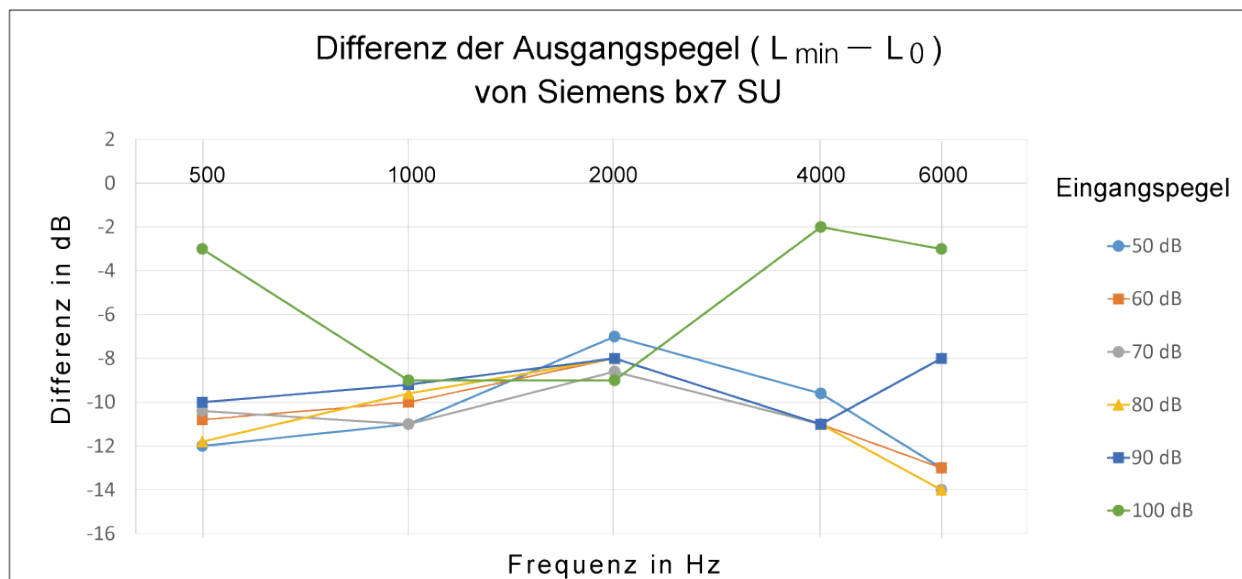


**Abbildung 29: Siemens bx7 SU: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Die Differenz zwischen dem minimalen Ausgangspegel und Ausgangspegel bei 0 s war bei allen Frequenzen und bei allen Eingangspegeln beobachtbar (siehe Abb. 30). Mit Ausnahme von einem Eingangspegel von 100 dB SPL lag die Differenz mindestens bei 7 dB und bei mehreren Messungen bei mehr als 10 dB. Im Vergleich zum Programm AN waren die Differenzen bei manchen Messungen ein paar dB kleiner.

Bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL betrugen die Unterdrückungen der Ausgangspegel nur 2 - 3 dB bei 500 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz, jedoch 9 dB bei mittleren Frequenzen. Die Abweichung der Reduktion zwischen den Frequenzen betrug maximal 7 dB. Der Unterschied der Reduktion zwischen den Frequenzen war größer als bei anderen Eingangspegeln.

Im Gegensatz zur Reduktion bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL waren die Verringerungen bei anderen Eingangspegeln bei 2000 Hz am kleinsten. Je höher oder je niedriger als 2000 Hz, desto stärker wurde der Ausgangspegel unterdrückt. Die Differenz lag zwischen 7 dB und 14 dB.



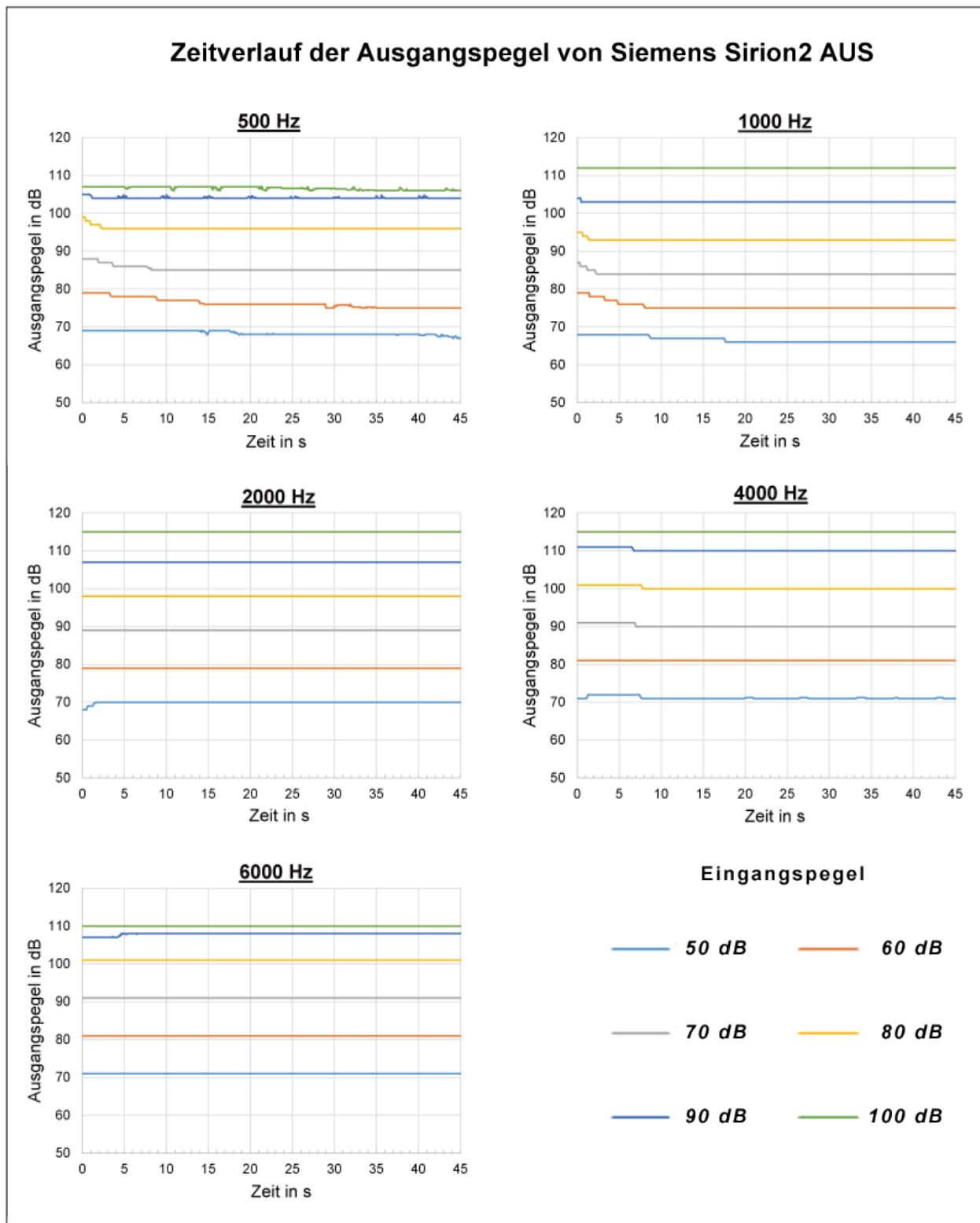
**Abbildung 30: Siemens bx7 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

**3.1.4 Siemens Sirion 2 M****Programm AUS**

In Abb. 31 ist zu erkennen, dass die Verstärkungen bei 19 dB bis 21 dB lagen. Es gab keinen großen Unterschied zwischen den Frequenzen. Allerdings waren die Verstärkungen bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL niedrig, insbesondere bei 500 Hz und bei 6000 Hz.

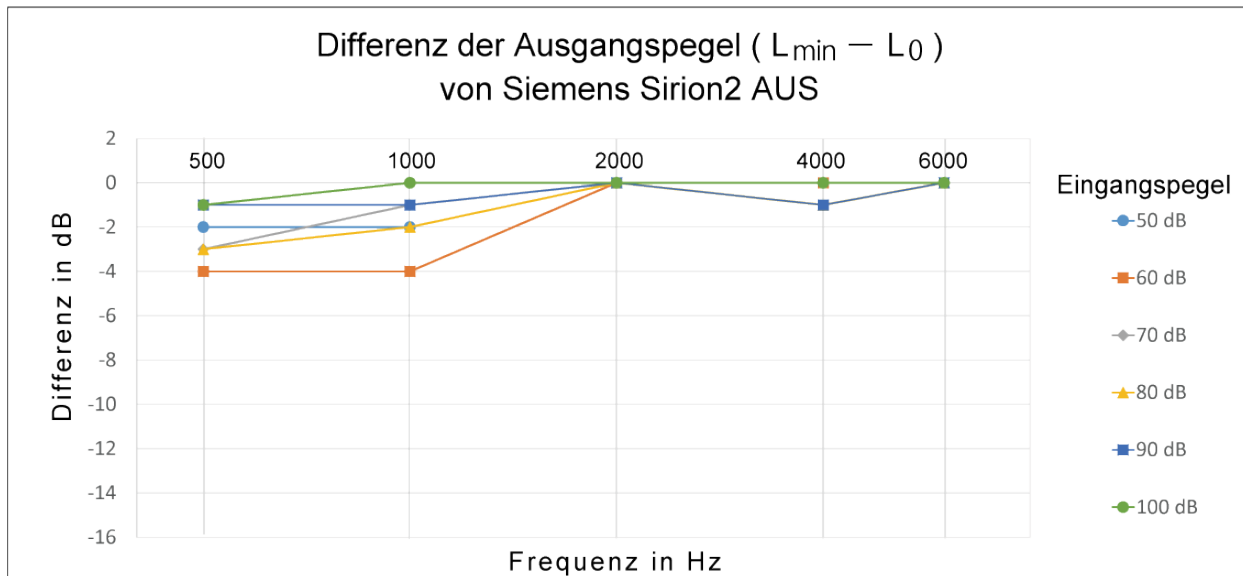
Bei Programm AUS reduzierten sich die Ausgangspegel bei tiefen Frequenzen von 500 Hz und 1000 Hz. Auf der anderen Seite war keine Reduzierung, sondern der Anstieg der Ausgangspegel bei 2000 Hz bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL vom Wert bei 0 s um 2 dB zu erkennen. Dabei betrug die Verstärkung am Zeitpunkt von 0 s 18 dB. Die Verstärkungen bei Eingangspegeln von 60 dB SPL und 70 dB SPL betrugen 19 dB bei 0 s.

Die Anfangszeiten der Reduzierung waren bei den Eingangspegeln zwischen 50 dB SPL und 80 dB SPL bei niedrigen Frequenzen von 500 Hz und 1000 Hz aufzunehmen. Sie lagen zwischen 0,4 s und 14,5 s. Die Verringerung der Ausgangspegel startete bei höheren Eingangspegeln früher als bei leiseren Eingangspegeln. Genauso wie die Anfangszeit der Reduzierung war die Endzeit der Reduzierung bei höheren Eingangspegeln.



**Abbildung 31: Siemens Sirion2 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Beim Programm AUS wurde keine Differenz zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  bei 2000 Hz und 6000 Hz beobachtet, hingegen gingen die Ausgangspegel vor allem bei niedrigen Frequenzen zurück (siehe Abb. 32). Bei 500 Hz und 1000 Hz bestand die stärkste Unterdrückung bei einem Eingangspegel von 60 dB SPL und der Wert lag bei 4 dB.



**Abbildung 32: Siemens Sirion2 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**



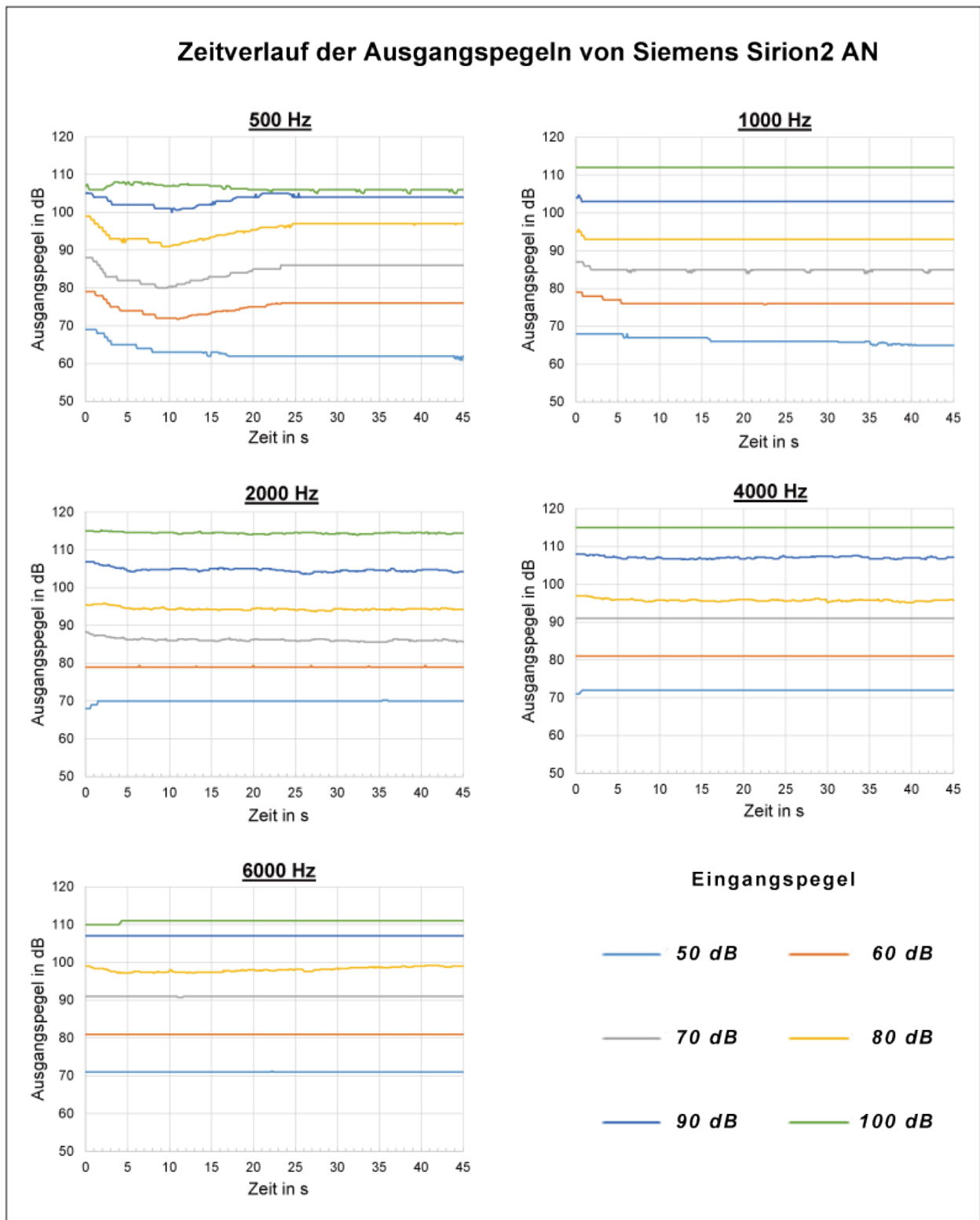
**Programm AN**

Bei 500 Hz reduzierten sich die Ausgangspegel bei Programm AN deutlicher als bei anderen Frequenzen (siehe Abb. 33). Das Verhalten des Hörsystems war bei der Frequenz zwischen den Eingangspegel unterschiedlich. Bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL schwankte der Ausgangspegel. Bei einem Eingangspegel 50 dB SPL war kein erneuter Anstieg zu erkennen, hingegen stiegen die Ausgangspegel bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 90 dB SPL nach dem Rückgang der Verstärkung wieder an. Aber die Ausgangspegel, die wieder anstiegen, waren noch niedriger als die jeweiligen Ausgangspegel bei 0 s. Die Rückgänge bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 90 dB SPL zeigten eine starke Abnahme innerhalb 3 s und danach eine langsame Reduzierung.

Auch bei 1000 Hz war eine Reduktion der Verstärkung erkennbar, doch war die Verringerung kleiner als bei 500 Hz und fast identisch wie bei Programm AUS. Bei 2000 Hz stieg der Ausgangspegel bei einem Eingangspegel von 50 dB vom Ausgangspegel am Beginn der Messung (0 s) an, andererseits sanken die Ausgangspegel bei Eingangspegeln zwischen 70 dB SPL und 90 dB SPL von der Ausgangspegel bei 0 s.

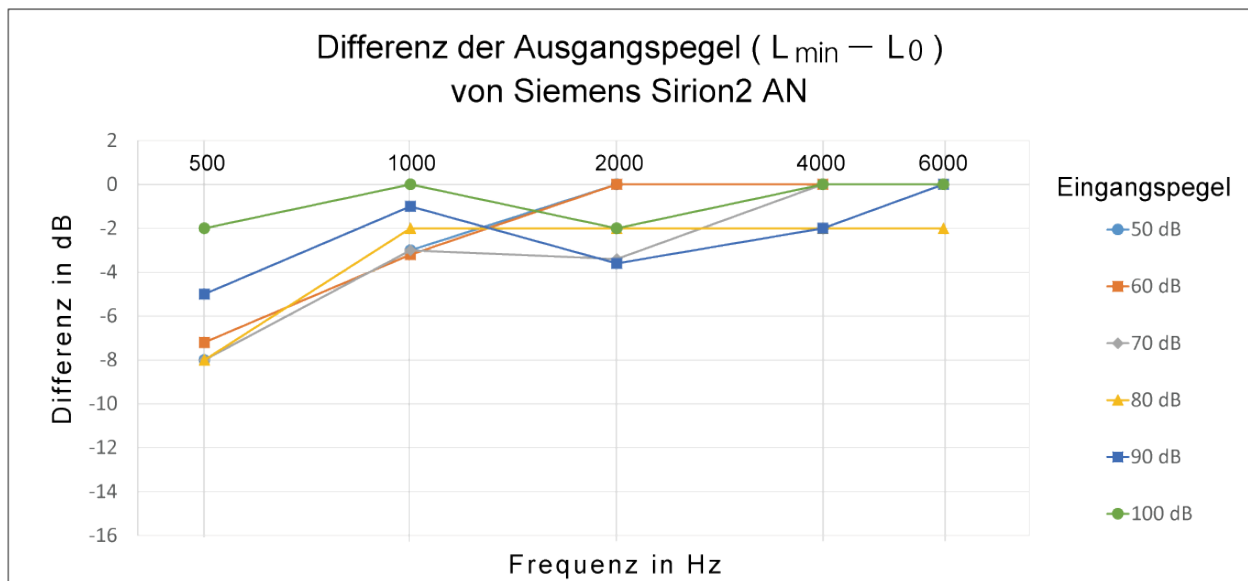
Bei 4000 Hz und 6000 Hz reduzierten sich die Ausgangspegel kaum bei niedrigen und mittleren Eingangspegeln und verhielten sich ähnlich wie beim Programm AUS, dagegen verhielten sich die Ausgangspegel bei Eingangspegeln von 80 dB SPL und 90 dB SPL anders als bei Programm AUS. Es war auffällig, dass der Ausgangspegel bei 0 s bei einem Eingangspegel von 80 dB SPL niedriger war als der Ausgangspegel bei 0 s bei Programm AUS.

Bei niedrigen Frequenzen von 500 Hz und 1000 Hz startete die Reduktion bei höheren Eingangspegeln früher als bei leiseren Eingangspegel. Die Reduktion fing bei mehreren Messungen innerhalb von anderthalb Sekunden an. Bei beiden Frequenzen war die Geschwindigkeit der Reduktion bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL langsamer und die Verringerungen dauerten länger, somit betrug die Endzeit der Reduzierung bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL bei 1000 Hz 14 s. Bei 2000 Hz fing der Rückgang der Ausgangspegel im Zeitraum von 1, 2 s bis 5,3 s an. Bei anderen Frequenzen waren die Anfangs- und Endzeit der Reduzierung wegen kleiner Änderung der Verstärkungen kaum erkennbar.



**Abbildung 33: Siemens Sirion2 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

In Abb. 34 ist zu sehen, dass die Verringerung bei Programm AN zwischen den Frequenzen und zwischen den Eingangspegeln unterschiedlich war. Die Reduktionen der Verstärkung waren bei niedrigen Frequenzen bei Eingangspegeln zwischen 50 dB SPL und 80 dB SPL größer als bei anderen Eingangspegeln und betrugen 7 bis 8 dB bei 500 Hz, dabei waren die Verringerungen bei 2000 Hz nicht so stark wie bei 1000 Hz. Bei diesen Eingangspegeln bestand keine Reduktion ab 4000 Hz. Bei Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL waren die Reduktionen bei 500 Hz und bei 2000 Hz groß und sie waren bei 2000 Hz größer als bei 1000 Hz.

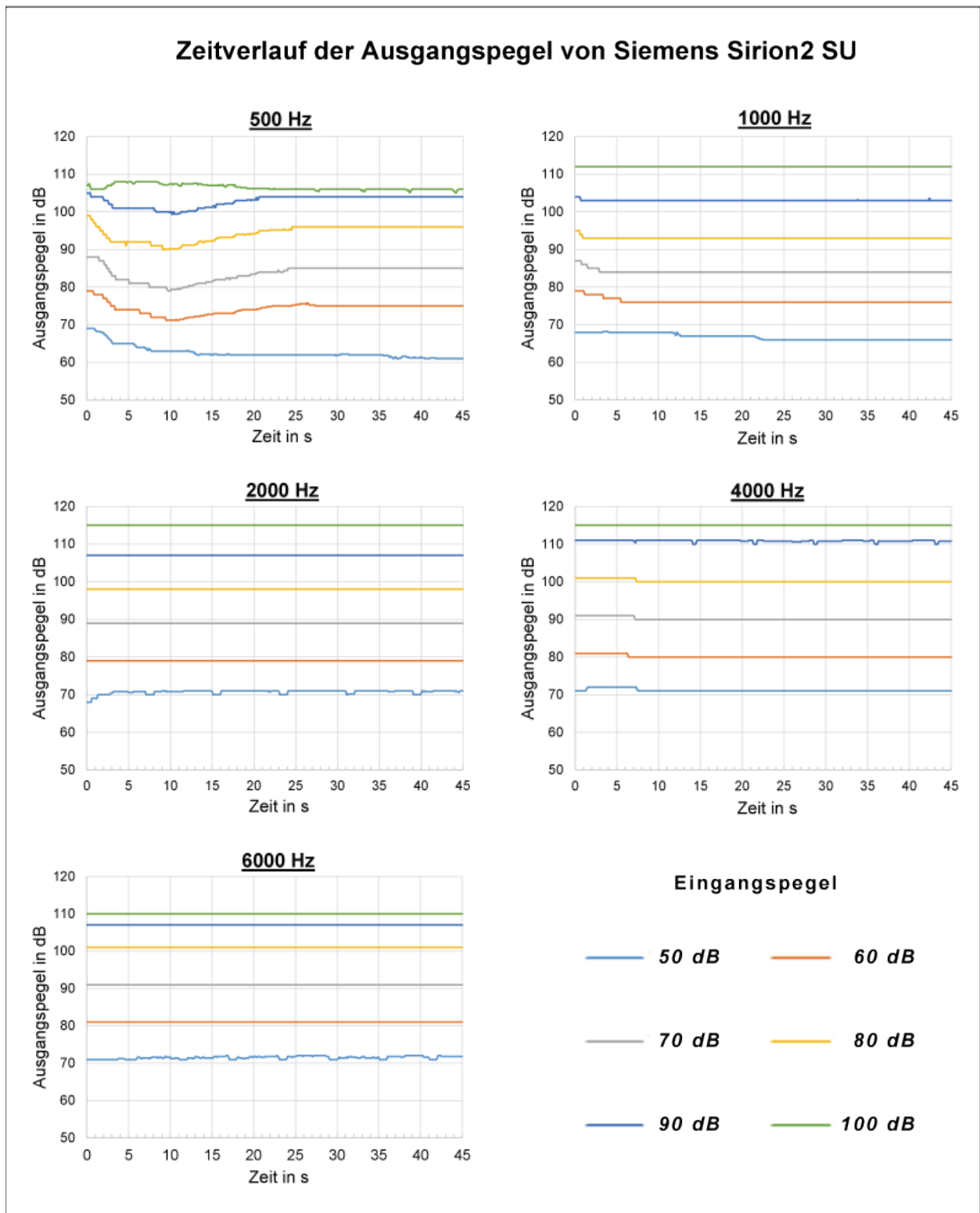


**Abbildung 34: Siemens Sirion2 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

**Programm SU**

Bei niedrigen Frequenzen gingen die Ausgangspegel zurück und das Verhalten des Siemens Sirion2 war ähnlich wie bei Programm AN (siehe Abb. 35). Dagegen war das Verhalten bei hohen Frequenzen eher ähnlich zu Programm AUS als zu Programm AN. Es fällt auf, dass keine Abweichung der Ausgangspegel bei 0 s zwischen den Programmen AUS und SU bei hohen Frequenzen vorlag, obwohl die Ausgangspegel am Beginn der Messung bei hohen Frequenzen bei hohen Eingangspegeln bei Programm AN niedriger waren als bei Programm SU.

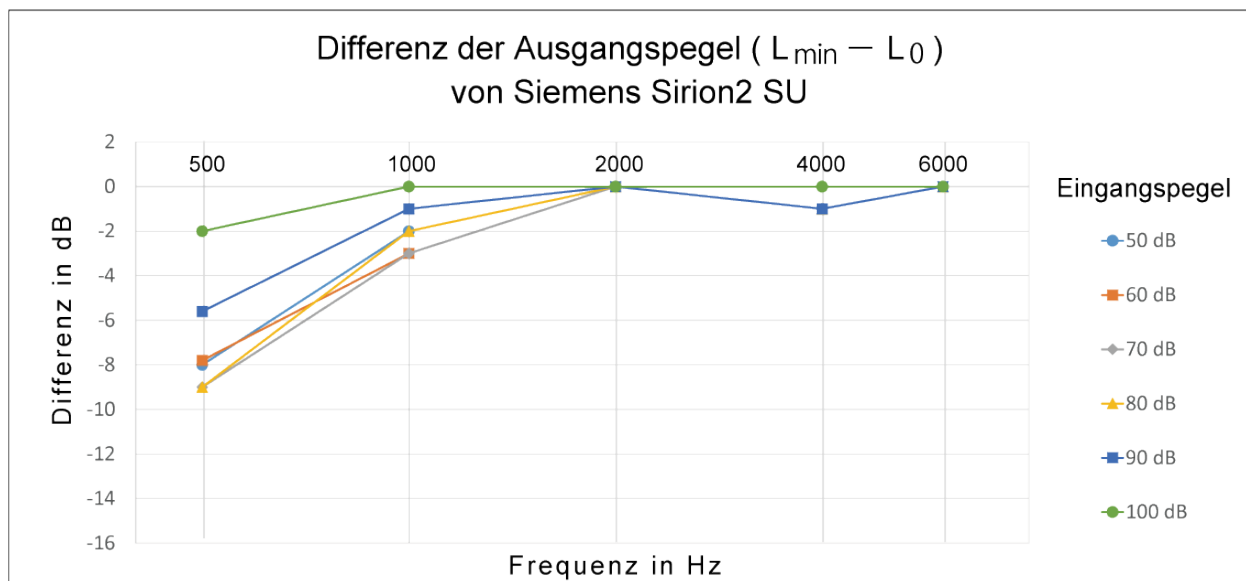
Die Anfangs- und Endzeiten der Reduzierung bei Programm SU waren nur bei niedrigen Frequenzen zu erkennen. Die Anfangszeiten der Reduzierung waren innerhalb von 2 s, außer bei 1000 Hz bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL. Bei 500 Hz bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL dauerte die Änderung lang, nämlich 11,7 s, somit betrug die Endzeit der Reduzierung 13 s. Bei anderen Testbedingungen wurden die Endzeiten der Reduktion mit etwa 7 s gemessen.



**Abbildung 35: Siemens Sirion2 SU: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).**

Bei 4000 Hz reduzierten sich die Ausgangspegel außer bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL um 1 dB (siehe Abb. 36). Im Gegensatz dazu wurde die Unterdrückung der Verstärkung weder bei 2000 Hz noch bei 6000 Hz beobachtet, obwohl die Verringerung um 2 - 4 dB bei den Frequenzen bei Programm AN beobachtet wurden.

Die erkennbaren Reduktionen waren stärker bei niedrigeren Frequenzen als bei höheren. Die Abweichung zwischen  $L_{\min}$  und  $L_0$  war am größten bei 500 Hz. Dabei betrug die Reduktion 2 dB bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL, 5,5 dB bei 90 dB SPL, und 7,8 dB bis 9 dB bei Eingangspegeln unterhalb 80 dB SPL.



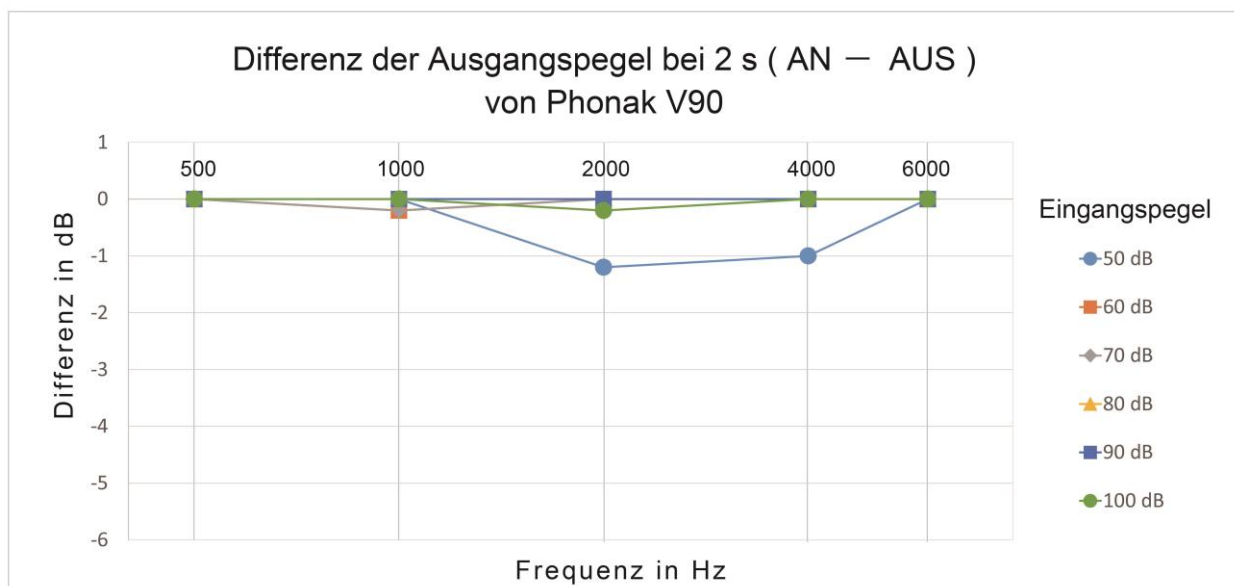
**Abbildung 36: Siemens Sirion2 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

### 3.2 Auswirkung der Funktionselemente bei Lautheitsskalierungen

Dieser Teil handelt vom Einfluss der adaptiven Funktionselemente bei der Lautheitsskalierung. Die Untersuchung bezog sich darauf, ob Unterschiede bei der Reaktion der Hörsysteme zwischen ein- und ausgeschalteten Funktionselementen bei 2 s bestehen oder nicht.

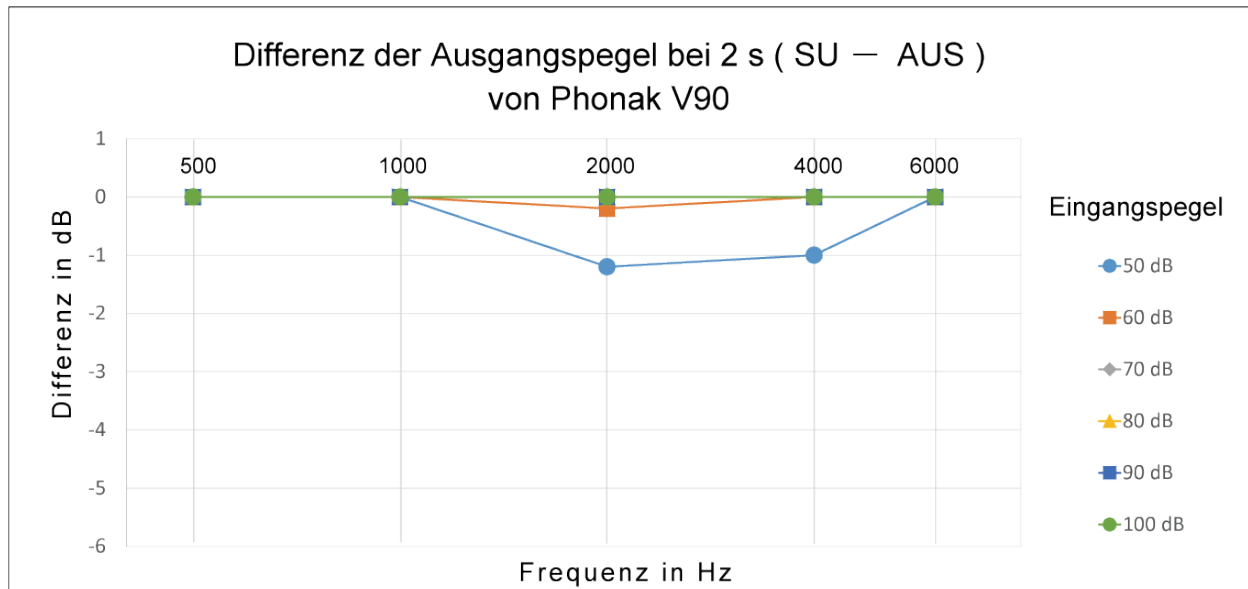
#### 3.2.1 Phonak Bolero V90-M

Abb. 37 stellt die durchschnittlichen Differenzen der Ausgangspegel zwischen den Programmen AN und AUS bei 2 s bei den jeweiligen Frequenzen und Eingangspegel bei fünf Messungen dar. Der negative Wert weist auf, dass der Ausgangspegel vom Programm AN bei 2 s niedriger war als der vom Programm AUS. Bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL waren die Ausgangspegel vom Programm AN bei 2000 Hz und 4000 Hz bei 2 s um 1 dB niedriger als der vom Programm AUS. Bei anderen Testbedingungen wichen die Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen AN und AUS kaum voneinander ab.



**Abbildung 37: Phonak V90 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

Genauso wie bei der Differenz zwischen den Programmen AN und AUS bestand der Unterschied zwischen den Programmen SU und AUS nur bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL und bei 2000 Hz und bei 4000 Hz um etwa 1 dB (siehe Abb. 38).

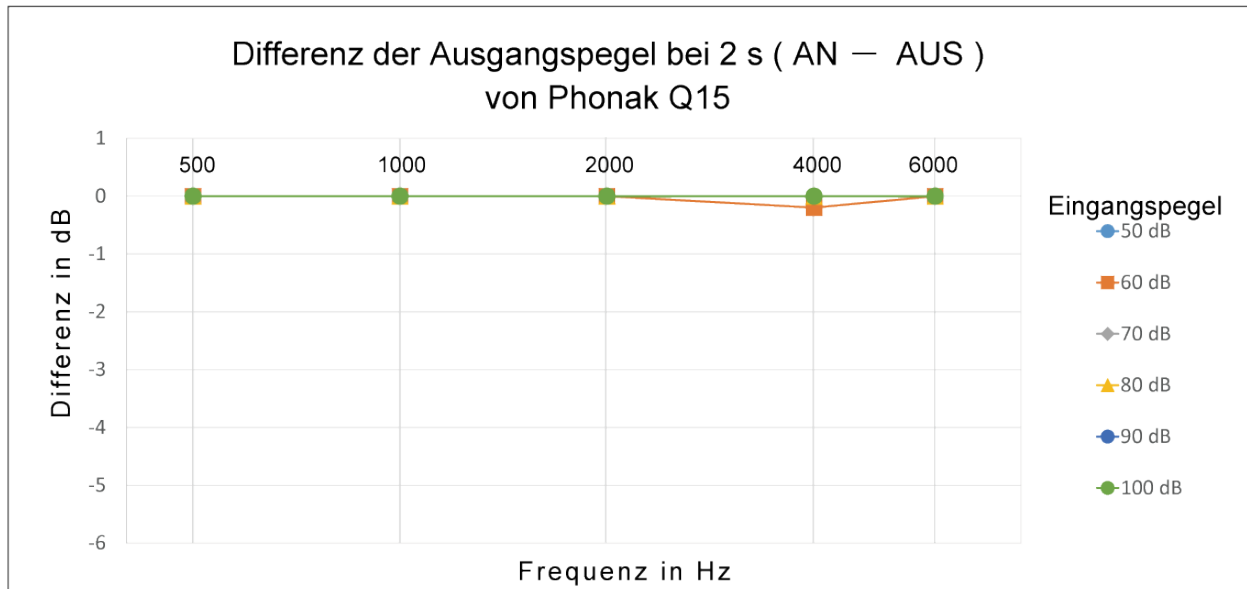


**Abbildung 38: Phonak V90 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**



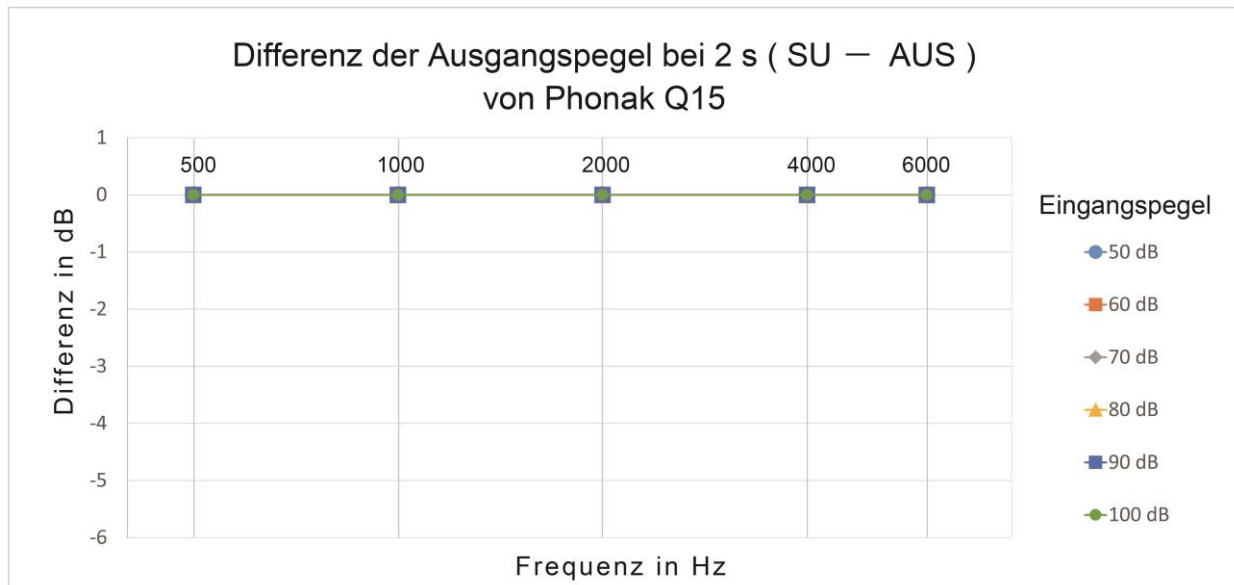
### 3.2.2 Phonak Baseo Q15-M

Abb. 39 zeigte die Abweichungen der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen AN und AUS bei jeweiligen Frequenzen und Eingangspegeln. Dabei ist sofort erkennbar, dass kaum ein Unterschied zwischen den Programmen AN und AUS bei 2 s vorliegt.



**Abbildung 39: Phonak Q15 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

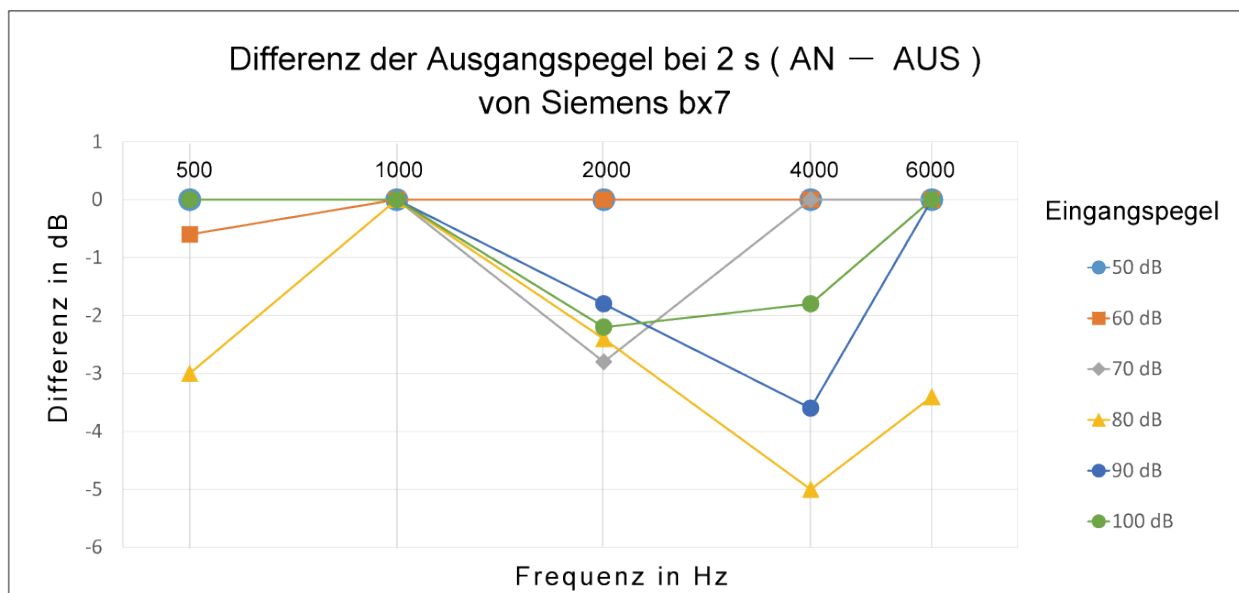
Laut dem Ergebnis von der Differenz zwischen den Programmen SU und AUS wurde kein Unterschied bei 2 s bei den jeweiligen Frequenzen und Eingangspegeln erkannt, trotz fünfmaliger Messung (siehe Abb. 40).



**Abbildung 40: Phonak Q15 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

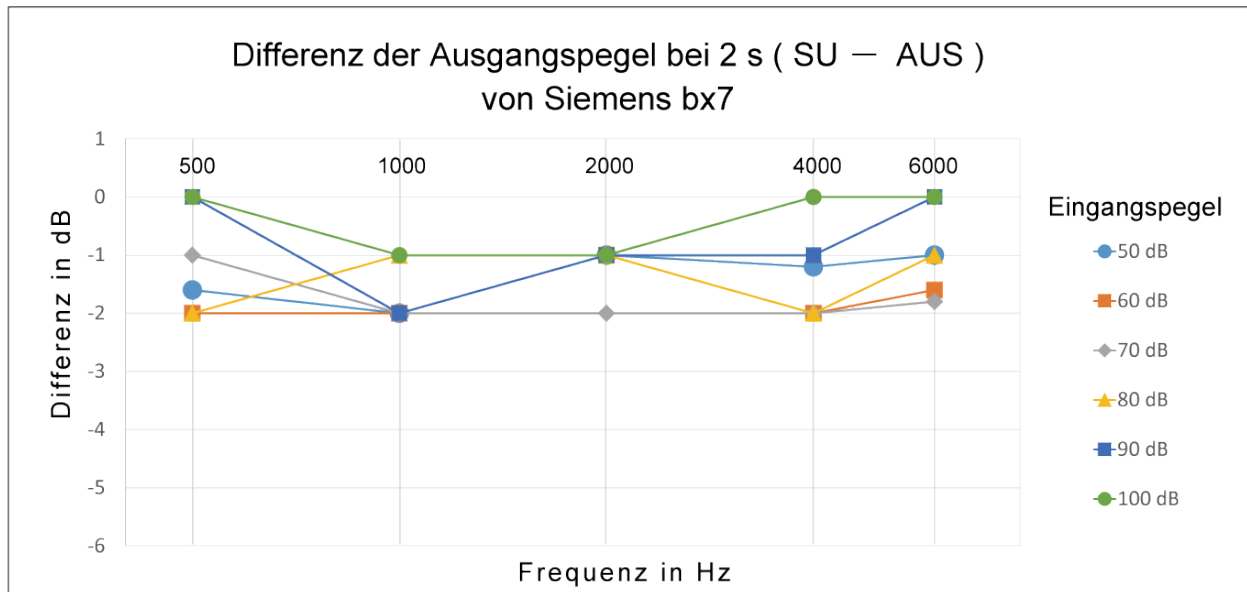
### 3.2.3 Siemens Motion SX binax7

Die Ausgangspegel bei 2 s wichen unter verschiedenen Bedingungen zwischen den Programmen AN und AUS ab (siehe Abb. 41). Die Differenzen der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen waren zwischen den Frequenzen und zwischen den Eingangspegeln unterschiedlich. Bei leisen Eingangspegeln, nämlich 50 dB SPL und 60 dB SPL, bestanden kaum Unterschiede der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen AN und AUS. Bei einem Eingangspegel von 70 dB SPL bei 2000 Hz gab es eine Differenz von 2,8 dB, dagegen bestand keine Abweichung zwischen den Programmen bei anderen Frequenzen. Bei lauten Eingangspegeln waren die Unterschiede größer als wie bisher beschrieben. Ausschlaggebend waren die Abweichungen bei einem Eingangspegel von 80 dB SPL zwischen den Frequenzen unterschiedlich. Beim Eingangspegel betrugen die Differenzen 3 dB bei 500 Hz und am höchsten 5 dB bei 4000 Hz, jedoch war keine Abweichung bei 1000 Hz zu beobachten. Bei Eingangspegeln von 90 dB SPL und 100 dB SPL war keine Differenz bei den niedrigeren Frequenzen erkennbar, während die Unterschiede bei 2000 Hz und bei 4000 Hz um etwa 2 dB bis 3,6 dB lagen.



**Abbildung 41: Siemens bx7 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

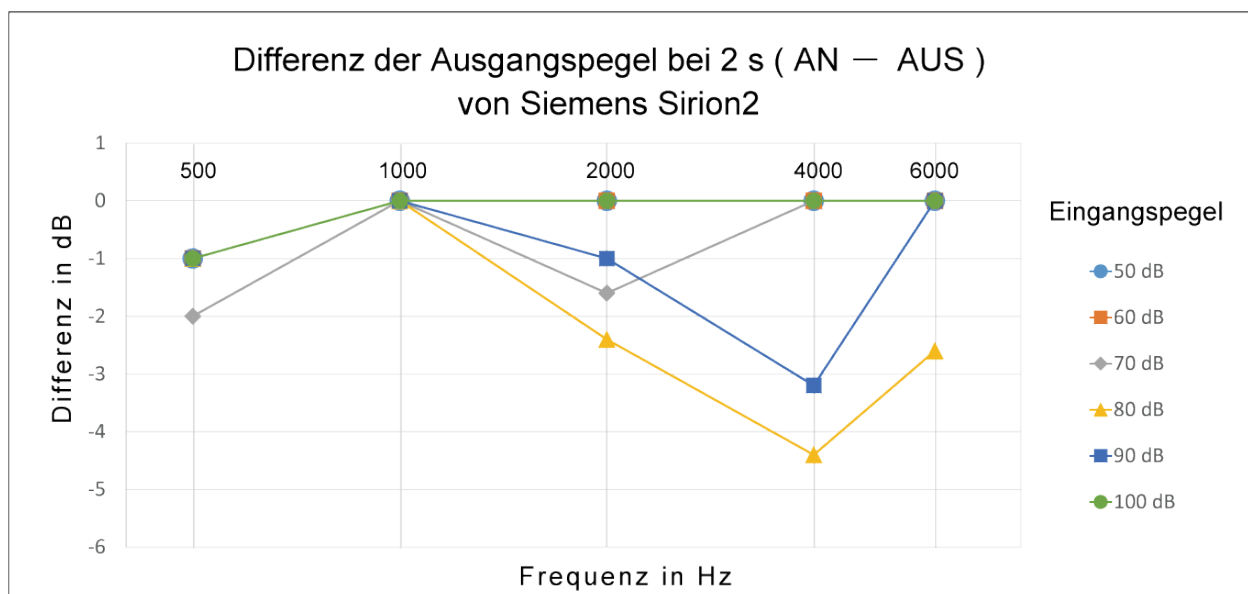
Die Differenzen der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen SU und AUS lagen höchstens bei 2 dB (siehe Abb. 42). Die Unterschiede zwischen den Programmen bei jeweiligen Eingangspegeln waren zwischen den Frequenzen fast identisch. Trotz der kleineren Werte bestanden die Unterschiede bei mehreren Messungen. Die Abweichungen der Verstärkungen bei 2 s zwischen den Programmen SU und AUS waren anders als die Abweichungen zwischen den Programmen AN und AUS.



**Abbildung 42: Siemens bx7 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

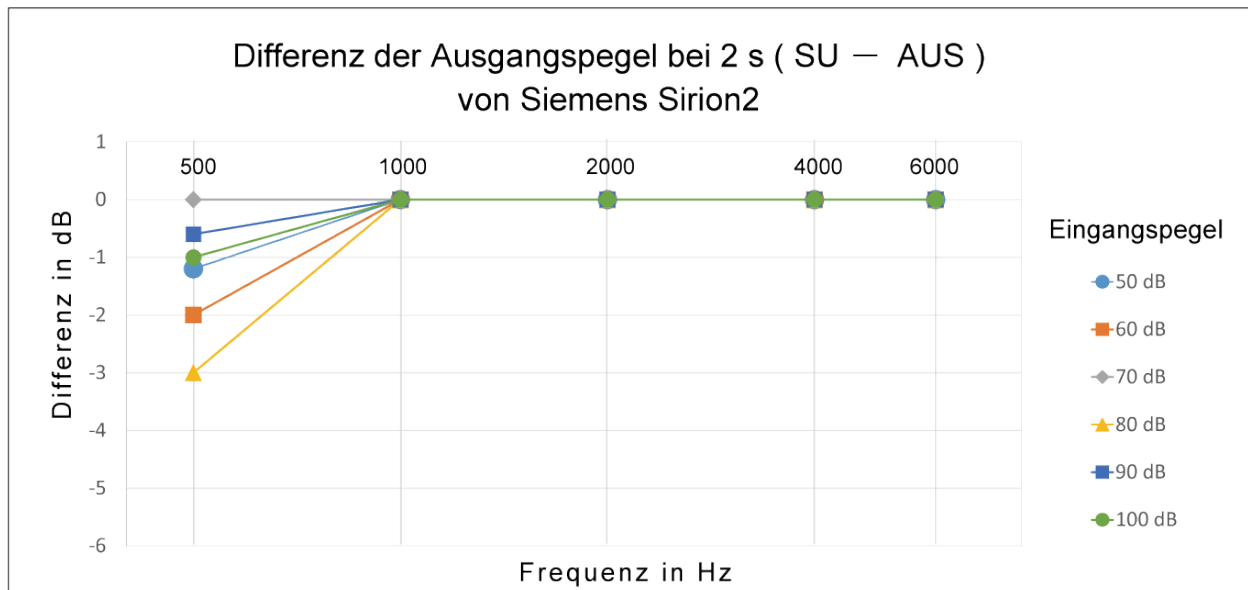
### 3.2.4 Siemens Sirion 2 M

Die Differenzen der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen AN und AUS waren bei 500 Hz bei jedem Eingangspegel erkennbar (siehe Abb. 43). Außer bei 500 Hz waren keine Unterschiede zwischen den Programmen bei Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL und 100 dB SPL zu beobachten. Bei einem Eingangspegel von 70 dB SPL bestand eine Abweichung auch bei 2000 Hz. Bei Eingangspegeln von 80 dB SPL und 90 dB SPL waren die Differenzen zwischen den Programmen AN und AUS höher. Vor allem bei 4000 Hz reduzierten sich die Ausgangspegel bei Programm AN bis 2 s stärker als bei Programm AUS, und zwar 4,4 dB oder 3,2 dB.



**Abbildung 43: Siemens Sirion2 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

In Abb. 44 findet man, dass Differenzen der Ausgangspegel bei 2 s nur bei 500 Hz zwischen den Programmen SU und AUS bestanden. Der maximale Unterschied zwischen den Programmen SU und AUS lag bei 3 dB bei einem Eingangspegel von 80 dB SPL. Bei den Eingangspegeln zwischen 70 dB SPL und 90 dB SPL betrugen die Abweichungen weniger als 1 dB. Zwischen den Programmen SU und AUS war keine Abweichung bei hohen Frequenzen zu erkennen, grad Gegenteil wie bei den Frequenzen zwischen den Programmen AN und AUS.



**Abbildung 44: Siemens Sirion2 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL.**

## 4 Diskussion

Die Lautheitsskalierung ist ein geeignetes Mittel nicht nur für die Diagnostik, sondern auch für die Hörsystemversorgung. Allerdings besteht das Problem, dass die Schmalbandsignale der Lautheitsskalierung eine unerwartete Reaktion der Hörgeräte verursachen können. In der vorliegenden Arbeit wurde das Verhalten von verschiedenen Hörgeräten unter drei verschiedenen Konfigurationen der adaptiven Funktionselemente, auf Terzbandrauschen (typische Testsignale bei der Lautheitsskalierung), untersucht. Dadurch wurden sowohl die Reaktion moderner Hörsysteme als auch der Einfluss der Funktionselemente bei der Lautheitsskalierung erfasst.

Die Ergebnisse beweisen, dass die modernen Hörsysteme ganz unterschiedlich auf das Testsignal für die Lautheitsskalierung, den Frequenzen und den Eingangspegeln reagieren. Auch die unterschiedlichen Hörgeräte sowohl im High-End-Geräte als auch im Low-End-Geräte reagieren unterschiedlich auf die oben genannten Punkte. Diese Unterschiede lagen nicht nur an den Funktionselementen, sondern auch an anderen Einflussfaktoren. In diesem Kapitel werden die gesammelten Ergebnisse und die möglichen Einflussfaktoren auf die Reaktion der Hörsysteme analysiert.

### 4.1 Überprüfung der Verstärkung bei jeweiligen Testbedingungen

Hier wird überprüft, ob die Verstärkung bei jeweiligen Frequenzen und Eingangspegel gleich sind, um die Vergleichbarkeit der Reaktion der Hörsysteme auf Terzbandrauschen zwischen den Testbedingungen sicherzustellen. In der Untersuchung betrugen die Differenzen der Verstärkungen bei 0 s zwischen den Frequenzen der jeweiligen Hörsysteme in der Regel höchstens 5 dB. Außerdem erreichte die Verstärkung bei 0 s, außer bei einem Eingangspegel von 100 dB SPL, mehr als 10 dB. Zudem verstärkten Siemens-Hörgeräte im Freifeld die Signale auch im Hochtonbereich richtig, obwohl sie in der Messbox die Signale bei hohen Frequenzen nicht richtig verstärkten. Infolgedessen waren die Verstärkungen jedes Hörsystems am Beginn der Messung bei den jeweiligen Testbedingungen in der Regel nicht gravierend unterschiedlich.

Einerseits war die Verstärkung bei 0 s in der Regel nicht anders als erwartet. Die Verstärkung bei 0 s war hingegen beim Eingangspegel von 100 dB SPL bei mehreren Messungen niedriger als der erwartete Wert von 20 dB und niedriger als bei einem Eingangspegel von 90 dB SPL. Dieses Phänomen war bei jedem Hörsystem zu beobachten.

## 4.2 Reaktionen der Hörsysteme auf Terzbandrauschen

Besonderer Wert wurde auf die Reaktion der Hörsysteme auf Terzbandrauschen gelegt. Hierbei wird die Übersicht über die Änderung des Ausgangspegels, die Anfangs- und Endzeit der Reduzierung und zuletzt die Reduktion der Verstärkung diskutiert. Im Anschluss an die Diskussion dieser Analyse der Reaktion der Hörsysteme wird noch auf die Besonderheit der Ergebnissen eingegangen.

### Phonak Bolero V90-M

Bei dem Phonak V90 zeigen die Ergebnisse, dass sich das Verhalten vom Phonak V90 auf Terzbandrauschen während der Messungszeit von 45 s nicht verändert, wenn die adaptiven Funktionselemente ausgeschaltet sind. Auf der anderen Seite waren die Werte der Ausgangspegel bei 0 s bei Programmen AN und SU wie die Werte vom Programm AUS. Trotzdem reduzierten sich die Ausgangspegel bei Programmen AN und SU während der Messungszeit bei jeder Frequenz und bei jedem Eingangspegel. Das belegt, dass die Funktionselemente, zumindest die Störschallunterdrückung, auf Terzbandrauschen reagieren und die Verstärkung reduzieren.

Die Reaktionen des Hörsystems mit Programm AN stimmten mit dem Programm SU überein, obwohl zusätzliche Funktionselemente, wie zum Beispiel die Impulsschallunterdrückung, beim Programm AN aktiviert waren. Somit kann man annehmen, dass die Reduzierung der Ausgangspegel beim Programm AN durch die Störschallunterdrückung herbeigeführt wird. Jedoch ist es schwer zu sagen, ob zusätzliche Funktionselemente, also nicht nur Störschallunterdrückung, auf Terzbandrauschen reagierten oder nicht.

Betrachtet man die Anfangs- und Endzeit der Reduzierung des Ausgangspegels, so bestanden Differenzen der Zeiten zwischen den Frequenzen. Außerdem startete die



Reduzierung der Ausgangspegel bei Programmen AN und SU bei lauterem Eingangspegel später. Bei Programm AUS war keine Änderung der Ausgangspegel zu erkennen und der Unterschied der Konfiguration zwischen den Programmen SU und AUS lag nur der an- oder ausgeschalteten Störschallunterdrückung. Daraus kann man erfassen, dass die Anfangszeit der Störschallunterdrückung vom Eingangspegel abhängt.

Der Begriff „onset time“ von Bentler und Chiou (2006) ist nicht identisch mit der in dieser Arbeit definierten Endzeit der Reduzierung des Ausgangspegels „ $t_e$ “. Trotzdem ist das Konzept gleich, nämlich die Einschwingzeit der Störschallunterdrückung. In der Studie von Bentler und Chiou (2006) hatten alle vier untersuchten Hörsysteme verschiedene onset time, aber onset time von zwei Hörsystemen lagen bei ca. 5 s. Im Vergleich zum Wert von 5 s waren die in dieser Prüfung gemessenen Endzeiten der Reduzierung bei Programm SU eher an der 5 s Marke, und zwar bei 3 s bis 8 s.

Die Auswirkung der adaptiven Funktionselementen auf die Ausgangspegel war fast identisch zwischen den Programmen AN und SU. Mit Ausnahme von einem Eingangspegel von 100 dB SPL betrug die Reduktion der Verstärkung bei Programm SU bei jeder Frequenz und jedem Eingangspegel etwa 6 dB. Es ergab sich, dass es unabhängig von Frequenzen und von Eingangspegeln ist, wie viel die Störschallunterdrückung die Ausgangspegel reduziert.

#### **Phonak Baseo Q15-M**

Bei Phonak Q15 wird betont, dass die Ausgangspegel trotz des Programms AUS sanken, obwohl dieses Phänomen bei Phonak V90 nicht beobachtet wurde. Daraus kann man erfassen, dass nicht nur adaptive Funktionselemente, sondern auch weitere Faktoren das Verhalten von Phonak Q15 auf Terzbandrauschen beeinflussen. Dieses Phänomen ist bei jeder Frequenz und bei jedem Eingangspegel zu beobachten. Je nach Eingangspegel bestand die Abweichung der Reaktion vom Hörgerät bei Programm AUS. Bei mittlerem und lautem Eingangspegel geschah der Wiederanstieg beim Programm AUS nach dem Rückgang, wiederum gab es keinen erneuten Anstieg bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL. Aus dieser Tatsache kann man feststellen, dass der Eingangspegel den Wiederanstieg vom Ausgangspegel beeinflussen kann oder auch nicht.

Phonak Q15 stellt als Funktionselemente Richtmikrofon, Störschallunterdrückung und Rückkopplungsunterdrückung zur Verfügung. Beim Programm SU wurde die Rückkopplungsunterdrückung ausgeschaltet. Trotzdem entsprach das Verhalten beim Programm SU dem des Programm AN. Dies zeigt, dass die Rückkopplungsunterdrückung von Phonak Q15 auf Terzbandrauschen nicht reagiert.

Darüber hinaus ergab die Untersuchung, dass die Ausgangspegel bei Programm SU stärker unterdrückt werden als beim Programm AUS. Diese Ergebnisse belegen, dass die Störschallunterdrückung die Ausgangspegel zusätzlich oder stärker reduzieren als der unbekannte Einflussfaktor, der beim Programm AUS die Ausgangspegel verringerte. Der unbekannte Einflussfaktor wird später näher erläutert.

Bei Programmen AN und SU wurde eine zweistufige Reduktion beobachtet, wo die Ausgangspegel beim Programm AUS wieder angestiegen sind. Dabei stimmten die Anfangszeit der Reduzierung und die Reduktion der Verstärkung beim Programm AUS mit den beiden Anfangszeiten und die Reduktion der Verstärkung der ersten Stufe bei den Programmen AN oder SU überein. Vergleichsweise starteten die Reduzierungen der Ausgangspegel später, die nur bei den Programmen AN und SU beobachtet wurden. Außerdem stimmten Anfangs- und Endzeit der Reduzierung bei Programmen AN und SU mit den Werten vom Programm AUS überein, wo die zweistufige Reduktion nicht beobachtet wurde. Diese führen zu der Annahme, dass die ersten Verringerungen der Verstärkungen aus dem Einflussfaktor vom Programm AUS kommen und dass die Störschallunterdrückung eine weitere zweite Unterdrückung der Ausgangspegel verursacht.

Beim Programm AUS betrugen die Anfangszeiten der Reduzierung 2 – 5 s und die Endzeiten der Reduzierung lagen zwischen 4 s und 6 s, wenn die Verringerung der Verstärkung zu erkennen war. Die Anfangszeiten der Reduzierung waren bei leiseren Eingangspegeln niedriger als bei lauterem. Es lässt sich vermuten, dass Eingangspegel die Einsatzdauer des Einflussfaktors vom Programm AUS beeinflussen.

Bei den Programmen AN und SU betrugen die Anfangszeiten der Reduzierung wie beim Programm AUS, nämlich 2 s bis 5 s bei leisen und mittleren Eingangspegeln, bei denen die Verringerungen auch beim Programm AUS zu erkennen waren. Hingegen lagen die Anfangszeiten der Änderung bei den Programmen AN und SU bei hohen Eingangspegeln, bei denen keine Reduzierung beim Programm AUS beobachtet wurden,

zwischen 5 s und 7 s und waren dabei später als die bei leisen und mittleren Eingangspegeln. Aus diesen Ergebnissen kann erläutert werden, dass die Einschwingzeit der Störschallunterdrückung durch Eingangspegel beeinflusst wird und dass die Störschallunterdrückung langsamer auf lautere Terzbandrauschen reagiert. Darauf bezogen besteht ein enger Zusammenhang zwischen Eingangspegel und Anfangszeit der Reduzierung der Ausgangspegel (als Ergänzung siehe Abb. 49 und Abb. 50 im Anhang).

Die Endzeiten der Reduzierung bei Programm SU waren je nach dem Eingangspegel unterschiedlich, und zwar von 4,3 s bis 20 s. Die Endzeiten waren offensichtlich früher beim Eingangspegel von 50 dB SPL, bei dem die zweite Reduzierung nicht erkannt wurde und bei dem die Reduktion der Verstärkung die gleichen Werte wie bei Programm AUS hatten. Dies verstärkt die Vermutung, dass die ersten und zweiten Verringerungen der Ausgangspegel unterschiedliche Ursachen haben.

Die Reduktion der Verstärkung von Phonak Q15 war zwischen den Eingangspegeln unterschiedlicher als bei Phonak V90. Beim Programm AUS war die Reduktion des Ausgangspegels bei lauterem Eingangspegel geringer. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass die Eingangspegel die Funktion des Einflussfaktors beim Programm AUS beeinflussen. Bei den Programmen AN und SU lagen die Unterdrückungen bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 90 dB SPL zwischen 7 dB und 10 dB. Bei Phonak Q15 sind diese Werte in den entsprechenden Testbedingungen von 1 dB bis 4 dB größer als bei Phonak V90.

Phonak V90 ist mit mehr Funktionselementen ausgerüstet als Phonak Q15. Deshalb ist es nachvollziehbar, dass das Verhalten beim Programm AN zwischen Phonak V90 und Phonak Q15 unterschiedlich war. Andererseits waren nicht nur die Reduktion des Ausgangspegels, sondern auch das Verhalten der Reduzierung der Verstärkung beim Programm AUS oder beim Programm SU unterschiedlich zwischen High- und Low-End-Geräten. Diese Feststellung weist die Möglichkeit hin, dass die Hersteller andere Algorithmen, gemäß dem Produktniveau, anwenden.

**Siemens Motion SX binax7**

Auch Siemens bx7 senkte beim Programm AUS die Ausgangspegel wie bei Phonak Q15. Die Reduktionen der Ausgangspegel waren vor allem im Tieftonbereich zu beobachten. Die Verringerung betrug bei Siemens bx7 höchstens 3 dB, während Phonak Q15 mit dem Programm AUS bei allen Frequenzen um 5 – 6 dB die Ausgangspegel reduzierte. Die Eigenschaften der Reduktion des Siemens bx7 bei Programm AUS sind anders als Phonak Q15.

Beim Programm AN ging der Ausgangspegel bei allen Frequenzen und bei allen Eingangspegeln zurück und die Verringerungen waren größer als beim Programm AUS. Daraus wird bestätigt, dass die adaptiven Funktionselemente auf Terzbandrauschen reagieren und die Verstärkungen unterdrücken. Während die Ausgangspegel bis 2000 Hz bei Eingangspegeln zwischen 60 dB SPL und 90 dB SPL einmal zurückgingen und danach wieder anstiegen, stiegen die Ausgangspegel bei 4000 Hz und 6000 Hz nicht mehr wieder an. Dieses Phänomen wurde beim Programm AUS nicht beobachtet, jedoch beim Programm SU erkannt. Aus diesen Ergebnissen kann man erfassen, dass dieses Verhalten teilweise oder komplett durch die Störschallunterdrückung veranlasst wurde. Zudem kann man für die Ergebnisse bei Programm SU behaupten, dass die Störschallunterdrückung je nach der Frequenz das Ausgangssignal unterschiedlich stark bestimmt und sich das Ausgangssignal dementsprechend verändert hat. Diese frequenzspezifische Reaktion der Störschallunterdrückung widerspricht nicht der Erklärung von Latzel et al. (2003), dass Störschallunterdrückungen in einzelnen Kanälen funktionieren.

Außerdem gingen die Ausgangspegel bei den Eingangspegeln von 50 dB SPL und 100 dB SPL bei dem Programm SU einmal zurück aber danach stiegen sie nicht mehr wieder an. Aus dieser Tatsache kann man erkennen, dass die Eingangspegel die Funktionen der Störschallunterdrückungen beeinflussen. Laut Krishnamurti und Anderson (2008) und Mueller und Ricketts (2005) sind die Eingangspegel ein Einflussfaktor auf die Störschallunterdrückung. Diese Ergebnisse argumentieren für ihre Studie.

Beim Programm SU bei den hohen Frequenzen, bei den kein Wiederanstieg der Verstärkung beobachtet wurde, wurden ein schneller Rückgang und eine zweite langsame Reduktion beobachtet. Beim Programm AUS wurde die Reduktion bei hohen

Frequenzen nicht beobachtet oder sie war sehr schwach. Deswegen kann die Störschallunterdrückung eine zweistufige Reduzierung verursachen. Siemens bx7 kombiniert die Wiener Filterung und die modulationsbasierte Störgeräuschreduktion (Siemens, 2015). Die Kombination zweier simultan funktionierenden Algorithmen kann das Verhalten der Reduzierung beeinflussen. Beispielsweise stellten Weber et al. (2006) bei ihrer Forschung sicher, dass das verwendete Siemens-Hörgerät zwei simultan funktionierende Algorithmen hatte und dass die Wiener Filterung schneller funktionierte als die andere modulationsbasierte Störschallunterdrückung. Andererseits stellte Chung (2004a) vor, dass die Reduktion der Verstärkung beim Siemens-Hörgerät (Triano) abhängig von Modulationstiefe und SNR ist und im nächsten Schritt durch die Wiener Filterung exakt bestimmt wird. Aber wie Bentler und Wu (2013) erklärten, auch in dieser Untersuchung konnte die Funktion wegen der Überlappung nicht einzeln gemessen werden. Aus diesem Grund ist eine weitere Forschung darüber notwendig, warum die Reduzierung zweistufig war.

Unter dem zeitlichen Aspekt der Reduktion der Ausgangspegel war die in dieser Arbeit definierte Anfangszeit beim Programm AUS nur bei tiefen Frequenzen zu messen. Im Vergleich dazu waren die Werte bei anderen Programmen bei allen Frequenzen zu erkennen. Beim Programm AN gab es die Differenzen der Reaktionszeit zwischen den Frequenzen und den Eingangspegeln. Die Anfangszeit der Reduzierung lag bei Programm AN zwischen 0,5 s und 4 s. Beim Programm AN fingen die Reduzierungen innerhalb von 2 s an. Die Werte der Anfangszeit waren bei Programm SU bei mehreren entsprechenden Testbedingungen niedriger als beim Programm AN, sodass es eine Vermutung gibt, dass andere adaptive Funktionselemente außer der Störschallunterdrückung die Reaktionszeit der Störschallunterdrückung verzögern. Die Ursache für das unterschiedliche Verhalten zwischen den Programmen AN und SU wird später näher erläutert.

Die Endzeiten der Reduzierungen beim Programm SU lagen zwischen 3 s und 8 s. Diese Ergebnisse standen nicht im Widerspruch zum Bericht von Bentler und Chiou (2006), denn hier lag onset time eines Siemens-Hörgeräts bei 5,4 s.

Nicht nur das Verhalten und die Anfangs- und Endzeit der Reduzierung, sondern auch die Reduktion der Verstärkung waren zwischen den Programmen unterschiedlich. Bei Programm SU lagen die Reduktion der Verstärkungen zwischen 8 dB und 14 dB. Dabei

war die Reduktion des Ausgangspegels bei den leisen und mittleren Eingangspegeln gleich oder größer als bei den lauten Eingangspegeln. Die Folge dieser Interpretation stimmt nicht mit Patent von Siemens (US8107656 B2, 2012) überein. Hier wird behauptet, dass die Störschallunterdrückung auf laute Rauschen stärker reagiert.

### **Siemens Sirion 2 M**

Bei Siemens Sirion2 gingen die Ausgangspegel beim Programm AUS vom Ausgangspegel bei 0 s zurück. Sowie bei Siemens bx7 wurde kaum eine Reduktion bei hohen Frequenzen registriert, trotzdem waren die Reduktionen bei Programm AUS bei tiefen Frequenzen um 1 – 2 dB stärker als bei Siemens bx7. Eine Besonderheit bei Siemens Sirion2 war, dass der Ausgangspegel bei 2000 Hz bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL bei allen Programmen vom Ausgangspegel bei 0 s anstieg. Bentler und Chiou (2006) berichteten, dass eine Störschallunterdrückung eines Hörgeräts die Ausgangspegel steigerte. Obwohl Programm AUS konfiguriert war, steigerte sich der Ausgangspegel. Somit stimmt die hiesige Untersuchung mit der von Bentler und Chiou (2006) nicht immer überein. Die Ursache für dieses Verhalten ist unbekannt. Bei dieser Besonderheit entsprach die endgültige gesteigerte Verstärkung der Verstärkung, die bei 0 s bei anderen Eingangspegeln gemessen wurde. Unter der Voraussetzung der linearen Verstärkung lässt die Vermutung zu, dass der Ausgangspegel zu Beginn der Messung gesenkt wurde und später der Einflussfaktor an Auswirkung abnahm.

Das Verhalten war zwischen den Programmen AN und SU unterschiedlich. Der Unterschied zwischen den Programmen AN und SU wird später näher analysiert. Beim Programm SU war das Verhalten bei den hohen Frequenzen ebenso wie beim Programm AUS. Daraus kann man folgern, dass die Störschallunterdrückung von Siemens Sirion2 sich auf Ausgangspegel nur im Tieftonbereich auswirkt.

Die Anfangszeit der Reduzierung vom Ausgangspegel weist bei allen Programmen bei einer tiefen Frequenz einen Zusammenhang mit dem Eingangspegel auf, sodass sie bei einer tiefen Frequenz im Gegensatz zu Phonak bei den höheren Eingangspegeln später als bei den niedrigeren Eingangspegeln war (als Ergänzung siehe Abb. 54 und Abb. 56 im Anhang). Jedoch ist diese Tendenz nicht deutlich erkennbar. Beim Programm SU betrugen die Endzeiten der Reduzierung 6 – 8 s. Diese Ergebnisse kommen den Ergebnissen von Bentler und Chiou (2006) nahe. Denn die Einschwingzeit der Störschallunterdrückung vom untersuchten Siemens-Hörgerät lag bei 5,4 s.

Bei den Phonak Hörsystemen starteten die Reduzierungen der Ausgangspegel bei allen Frequenzen bei den lauterer Eingangspegeln früher. Hier bestand kein bestimmter Zusammenhang zwischen den Eingangspegel und Anfangszeit der Reduzierung bei den Siemens Hörsystemen, obwohl die Anfangszeiten der Reduzierung von Siemens Sirion2 bei der tiefen Frequenz bei lauterer Eingangspegel früher waren als bei leiseren Eingangspegeln. Aus diesen Resultaten ist zu erkennen, dass die herstellerspezifischen Hintergründe unterschiedlich sind, wann die Reduktion der Verstärkung startet und von welchen Faktoren die Anfangszeit der Reduzierung vom Ausgangspegel abhängt.

Die Reduktion des Ausgangspegels bei Siemens Sirion2 bei Programmen SU weist Unterschiede mit Siemens bx7 auf, und zwar war die Reduktion nur im Tieftonbereich beobachtbar und sie war kleiner. Bei 500 Hz betrug die Reduktion der Verstärkung bei Programm SU etwa 6 - 9 dB. Alcantara et al. (2003) berichteten, wie die Störschallunterdrückung auf die Töne, die aus den gleichen lauten Rauschen und sprachsimulierten Rauschen bestanden, reagieren. Dabei reduzierte die Störschallunterdrückung die Verstärkung von 8 dB bis 10 dB. Es herrschten unterschiedliche Bedingungen, jedoch die Beträge der Reduktionen in dieser Arbeit stimmen mit den Werten von Alcantara et al. (2003) überein.

Die Ergebnisse von Siemens Sirion2 zeigten einige Ähnlichkeiten mit Siemens bx7, wie zum Beispiel waren die Reduzierung der Ausgangspegel bei Programm AUS und die Differenz zwischen den Programmen AN und SU bei beiden Hörsystemen beobachtbar. Dagegen weist die Untersuchung auch Unterschiede zwischen High- und Low-End-Geräten von Siemens auf. Bei Programm AN waren die Ergebnisse zwischen High- und Low-End-Geräten unterschiedlich. Das kann daran liegen, dass High-End-Geräte über mehr Funktionselemente verfügen. Auch bei Programm SU waren die Ergebnisse zwischen den High- und Low-End-Geräten unterschiedlich. Dabei waren die Reduktionen der Verstärkung bei Siemens bx7 größer als bei Siemens Sirion2. Außerdem reduzierte Siemens bx7 bei Programm SU die Ausgangspegel bei allen Frequenzen, während Siemens Sirion2 nur im Tieftonbereich die Verstärkung verringerte. Aus diesem Grund lässt die Erkenntnis erschließen, dass die Reaktion der Störschallunterdrückung auf Terzbandrauschen zwischen den High- und Low-End-Hörsystemen von Siemens unterschiedlich ist.

Wie die Untersuchung aufgezeigt hat, ergab sich die Reaktion auf Terzbandrauschen zwischen den High- und Low-End-Geräten bei beiden Hersteller unterschiedlich. Darüber hinaus belegte die Untersuchung, dass die Hörsysteme auf Terzbandrauschen zwischen den Herstellern unterschiedlich reagieren. Aus der Datenermittlung ist zu erkennen, dass nicht nur Reduktionen der Verstärkung, sondern auch das Verhalten bei der Reduzierung zwischen den Herstellern unterschiedlich sind, insbesondere wenn die Funktionselemente aktiviert sind. Vergleichsweise ist die Reduktion der Verstärkung, bei der die Funktionselemente der Siemens-Hörsysteme angeschaltet sind, größer als bei Phonak-Hörsysteme. Außerdem wird durch die Analyse verdeutlicht, dass die Störschallunterdrückung von Siemens-Hörsystemen zwischen den Frequenzen unterschiedlich reagiert als die von Phonak-Hörsystemen.

#### **Unterschied zwischen den Programmen AN und SU bei Siemens-Hörsystemen**

Bei beiden Siemens-Hörsystemen waren einige Ausgangspegel zu Beginn der Messung bei den lauten Eingangspegeln bei 2000 Hz, 4000 Hz und gegebenenfalls 6000 Hz beim Programm AN niedriger als beim Programm AUS. Dieses Phänomen wurde beim Programm SU nicht beobachtet. Somit wird festgestellt, dass nicht nur die Störschallunterdrückung, sondern auch andere adaptive Funktionselemente für beide Siemens-Hörsysteme auf Terzbandrauschen reagieren und sich auf die Ausgangspegel auswirken.

Um dieses Phänomen näher zu erläutern, liegt der Fokus auf Siemens Sirion2. Siemens Sirion2 ist nur mit Richtmikrofon, Rückkopplungsmanager und Störschallunterdrückung als Funktionselemente ausgestattet. Das heißt, dass der Unterschied zwischen den Programmen AN und SU liegt darin, dass die Rückkopplungsunterdrückung an- oder ausgeschaltet wurde. Beim Programm SU war der niedrige Ausgangspegel bei 0 s nicht zu beobachten. Diese Tatsache weist nach, dass die niedrigeren Ausgangspegel bei 0 s beim Programm AN an der Rückkopplungsunterdrückung lagen.

Diese Vermutung, dass die Rückkopplungsunterdrückung für Siemens-Hörsysteme auf Terzbandrauschen reagiert und die Verstärkung reduziert, argumentiert für und gegen die bisherigen Erkenntnisse. Die Reduzierung der Verstärkung prägte sich in dieser Untersuchung vor allem bei 2000 Hz und 4000 Hz aus. Diese Frequenzen stimmen auch mit dem Frequenzbereich von Dyrland und Lundh (1990) überein, sodass die Frequenzregion typischer Rückkopplung zwischen 2000 Hz und 5000 Hz ist. Außerdem



befürwortet die oben genannte Annahme die Erklärung von Ulrich und Hoffmann (2012), dass alle Maßnahmen gegen die Rückkopplung möglicherweise die Verstärkung reduzieren können.

Allerdings gibt es Beweise, die gegen die oben genannten Behauptungen sprechen. Aus der Forschung von Groth (1999) verursacht ein Algorithmus der Rückkopplungsunterdrückung, nämlich die Phasenumkehr, theoretisch keine Reduktion der Verstärkung. Darüber hinaus erklärt Schaub (2005), dass eine sinusförmige Signalkomponente bei der Rückkopplung das akustische Signal beherrscht. Außerdem ist ein Auslöser der Rückkopplungsunterdrückung laut Chung (2004b) ein tonales Signal. In dieser Untersuchung wurden Terzbandrauschen dargeboten und Terzbandrauschen haben eine breitere Frequenzbreite als Sinuston. Weiterhin wurde der Rückkopplungstest bei der Einstellung der Siemens-Hörsysteme nicht durchgeführt. Deswegen sollten die Rückkopplungsmanager keine absichtliche Senkung der Verstärkung auslösen. Zudem wurden die Hörsysteme bei der Messung mit  $2 \text{ cm}^3$  Kuppler angekoppelt, wobei die Rückkopplung kaum bis gar nicht auftritt.

Laut des Vergleichs der Resultate zwischen den Programmen AN und SU, muss die Ursache für den niedrigen Pegel, zumindest bei Siemens Sirion2, die Rückkopplungsunterdrückung sein. Dennoch stimmen die Ergebnisse nicht immer mit den Erkenntnissen nach der Literatur überein. Deswegen sollte eine weitere Forschung über diese Frage gemacht werden.

#### **Betrachtung über die Ursache der Reduktion von Ausgangspegeln bei AUS**

Im Folgenden wurden weitere Betrachtungen berücksichtigt. Trotz Programm AUS reduzierten sich die Ausgangspegel bei Phonak Q15, Siemens bx7 und Siemens Sirion2 im Laufe der Zeit. Beispielsweise reduzierten sich die Ausgangspegel bei Phonak Q15 um 5 dB. Diese Phänomene wurden während der fünfmaligen Wiederholung mehrmals beobachtet. Aus diesem Grund müsste diese Reduktion nicht nur auf Messfehler, sondern auch auf andere Einflussfaktoren zurückzuführen sein.

In dieser Untersuchung wurde die Mikrofoneigenschaft auf „Omni“ oder auf „feste Direktionalität“ eingestellt. Die Schallquelle stand gegenüber den Hörsystemen, daher ist die Möglichkeit sehr niedrig, dass das Mikrofonssystem die niedrigen Ausgangspegel verursacht.

Hinzu kommt, dass das Programm „laute Umgebung“ als Basisprogramm in dieser Arbeit angewendet wurde. Automatisches Programm kann laut Kießling (2006) automatisch je nach Situation zu einem anderen Programm wechseln oder die Eigenschaften verändern. Aber das in dieser Untersuchung verwendete feste Programm wechselt nicht automatisch zu einem anderen Programm.

Des Weiteren war die Lautstärke des Prüfsignals während der Messung in der Regel konstant. Deswegen ist die Ursache der Reduzierung der Verstärkung beim Programm AUS nicht die Änderung oder die Schwankung der Eingangspegel.

Ein möglicher Einflussfaktor ist, dass das Programm „laute Umgebung“ als Basisprogramm der Einstellung verwendet wurde. Die vom Hersteller empfohlene Konfiguration für die Verstärkung bei Programm „Komfort im Störgeräusch“ ist um 2 dB bis 5 dB im ganzen Frequenzbereich niedriger als die Konfiguration bei Programm „ruhige Umgebung“ laut der Anpasssoftware von Phonak, Phonak Target. Auf der anderen Seite ist die vom Hersteller empfohlene Konfiguration der Verstärkung beim Programm „laute Umgebung“ nur im tiefen Frequenzbereich um 1 dB bis 6 dB niedriger als beim Programm „Universell“ laut der Anpasssoftware von Siemens, Connexx 8.

In der Untersuchung betrugen die Reduktion bei Siemens ca. 3 dB bei tiefer Frequenz. Diese Verringerung der Verstärkung und die Frequenz der Reduktion stimmen mit dem Unterschied zwischen den Programmen „Universell“ und „laute Umgebung“ von Siemens überein. Darüber hinaus wurde die Reduktion bei Programm AUS für beide High- und Low-End-Hörgeräte von Siemens beobachtet. Deshalb kann angenommen werden, dass das Programm „laute Umgebung“ ein Teil der Ursache der Reduktion der Ausgangspegel beim Programm AUS ist.

Auch bei Phonak Q15 stimmen die Frequenzbereiche, in der Unterschiede bei der Verstärkung zwischen den Programmen „Komfort im Störgeräusch“ und „ruhige Umgebung“ bestehen, mit den Frequenzen überein, bei der die Reduktion der Verstärkung beim Programm AUS in dieser Untersuchung vorkam. Jedoch wurde die Reduktion der Verstärkung bei Phonak V90 nicht beobachtet, obwohl die gleiche Einstellung von Programm „Komfort im Störgeräusch“ laut der Anpasssoftware für beide High- und Low-End-Hörgeräten angewendet wurden. Daher ist es schwer zu sagen, ob die Verwendung des Programms „Komfort im Störgeräusch“ von Phonak eine Ursache der Reduktion beim Programm AUS ist oder nicht. In dieser Prüfung

wurden trotzdem nur die auf laute Umgebung basierten Programme verwendet, sodass man die Einwirkung der Programme nicht richtig evaluieren kann. Darum wird die weitere Untersuchung über die Auswirkung der Programme gefordert.

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor ist eine Kompression. Wenn Hörsysteme bei der Programmierung der Verstärkung nicht richtig linear eingestellt würden und wenn die Kompression eine späte Einschwingzeit hätte, könnte die Kompression während der Messungszeit die Ausgangspegel reduzieren. Für Siemens Hörsysteme wurde die Silbenkompression für alle Kanäle verwendet. Die Einschwingzeit der Silbenkompression beträgt in der Regel unterhalb von 50 ms (Dillon, 2012). In dieser Untersuchung startete die Reduzierung der Ausgangspegel bei Siemens frühestens bei 400 ms. Daher war die Zeit anders als die Einschwingzeit der Silbenkompression. Aus diesem Grund war die Kompression bei Siemens nicht die Ursache der Reduzierung bei Programm AUS, selbst wenn die Verstärkung nicht linear war. Im Gegensatz zur Silbenkompression liegt die Einschwingzeit der dualen Kompression laut Ulrich und Hoffmann (2012) bei 0,3 s bis 2 s, gegebenenfalls bei mehr als 10 s. Zumindest die eine ältere Generation von Phonak Q15, und zwar „Spice“, verwendete einen auf duale Kompression basierenden Algorithmus (Phonak, 2011). Hierbei ist die Annahme aufgrund beschränkter Information über die Kompression von Phonak Q15 nicht richtig zu evaluieren. Nur auf Basis der Kompression kann nicht bestätigt werden, warum die Ausgangspegel bei Phonak Q15 einmal zurückgingen und danach wieder anstiegen. Man kann einige Einflussfaktoren auf die Reduktion der Ausgangspegel beim Programm AUS erahnen, trotzdem bestehen noch Unklarheiten und Schwierigkeiten, die genaue Ursache zu herauszufinden. Auch hier werden weitere Forschungen auf diesem Gebiet erforderlich sein.

In dieser Untersuchung wurde aufgezeigt, dass Reaktionen der Hörsysteme zwischen Eingangspegeln und eventuell zwischen den Frequenzen unterschiedlich sind. Zudem reagieren die Funktionselemente, zumindest die Störschallunterdrückung, auf Terzbandrauschen und reduzieren die Verstärkung. Einige Hörsysteme, bei denen die Funktionselemente ausgeschaltet sind, reduzieren des Öfteren die Verstärkung. Zwar ist der Zusammenhang zwischen Ursache und Folge in manchen Fällen noch unklar, aber die gesammelten Erkenntnisse über die Reaktion der Hörsysteme auf das Signal der Lautheitsskalierung sind sinnvoll und diese helfen das Verhalten von Hörsystemen in der Praxis zu begreifen.

### 4.3 Auswirkung der Funktionselemente auf Lautheitsskalierungen

In diesem Teil handelt es sich um den Einfluss der adaptiven Funktionselemente bei der Lautheitsskalierung, indem die Ausgangspegel bei 2 s zwischen dem Programm AUS und den entsprechenden Programmen verglichen werden.

Die Lautheitsskalierung bietet meistens das Prüfsignal 2 s, wie zum Beispiel verwendeten Brand und Hohmann (2002) die Signaldauer von 2 s bei ihrer Forschung. In Hinblick auf typische Signaldauer von 2 s bei der Lautheitsskalierung kann man vermuten, dass die Funktionselemente während der Darbietung des Testsignals bei Lautheitsskalierung die Ausgangspegel nicht beeinflussen, wenn keine Differenz der Ausgangspegel zwischen den Programmen AUS und AN oder AUS und SU bis 2 s bestand. Aus diesem Anlass kann man aus den Ergebnissen in dieser Untersuchung folgern, dass die Funktionselemente von Phonak die Resultate der Lautheitsskalierung kaum beeinflussen.

Bei Phonak V90 bestanden zwar die Unterschiede der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen AN und AUS und zwischen den Programmen SU und AUS nur bei einem Eingangspegel von 50 dB SPL bei 2000 Hz und 4000 Hz, und zwar höchstens 1,2 dB. Aber kein Unterschied lag bei sonstigen Testbedingungen. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Funktionselemente von Phonak V90 während der Darbietung der Testsignale die Verstärkung kaum verändern.

Bei Phonak Q15 bestanden kaum Unterschiede der Ausgangspegel bei 2 s zwischen dem Programm AUS und anderen Programmen. Dieses Ergebnis weist nach, dass adaptive Funktionselemente während der Darbietungsdauer der Testsignale, nämlich 2 s, die Ausgangspegel nicht verändern.

Im Gegensatz zu Phonak war die Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programm AUS und anderen Programmen bei Siemens bei mehreren Testbedingungen zu beobachten. Diese Tatsache zeigt, dass die Funktionselemente von Siemens sich auf das Ergebnis der Lautheitsskalierung auswirken können.

Bei Siemens bx7 bestanden zwar keine Differenzen zwischen den Programmen AN und AUS bei den Eingangspegeln von 50 dB SPL und 60 dB SPL, jedoch waren die Abweichungen bei den lauten Eingangspegeln zu beobachten. Die Differenzen waren

zwischen den Testbedingungen unterschiedlich und betrugen Maximal 5 dB. Dadurch ist gewiss, dass die Funktionselemente während der Durchführung der Lautheitsskalierung auf Terzbandrauschen reagieren und die Verstärkung bei jeweiligen Messungen unterschiedlich reduzieren. Die Differenzen der Ausgangspegel bei 2 s zwischen den Programmen SU und AUS betrugen bei Siemens bx7 höchstens 2 dB. Dieser Wert ist niedriger als der Wert zwischen den Programmen AN und AUS. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die reine Störschallunterdrückung bei Lautheitsskalierung auf die Ausgangspegel eine kleinere Auswirkung haben als die Kombination der Funktionselemente.

Die adaptiven Funktionselemente von Siemens Sirion2 haben eine kleinere Auswirkung auf die Lautheitsskalierung als die von Siemens bx7. Nach den Ergebnisse waren keine Differenzen zwischen den Programmen SU und AUS, mit Ausnahme von 500 Hz, zu erkennen. Das belegt, dass die Störschallunterdrückung von Siemens Sirion2 das Ergebnis der Lautheitsskalierung im Hochtonbereich nicht verändert. Dagegen bestanden die Differenzen der Ausgangspegel zwischen den Programmen AN und AUS bei 2 s zusätzlich bei 2000 Hz und 4000 Hz und lag höchstens bei 4 dB. Aus diesem Grund könnten sich die Ausgangspegel während der Messung sogar um 4 dB verändern, wenn die vom Hersteller empfohlene Konfiguration der Funktionselemente verwendet wird.

Bisher wurde Einfluss der Funktionselemente auf die Lautheitsskalierung analysiert. Hierbei müssen auch die Ergebnisse berücksichtigt werden, dass Phonak Q15 und beide Siemens-Hörsysteme die Ausgangspegel bis 2 s auch bei Programm AUS bei einigen Testbedingungen reduzierten. Diese Resultate deuten daraufhin, dass sich die Ausgangspegel während der Darbietung des Prüfsignals bei Lautheitsskalierung verändern, selbst wenn die Funktionselemente ausgeschaltet sind. Des Weiteren berücksichtigt diese Untersuchung nicht die Beeinflussung von der Ausschwingzeit der Funktionselemente, und auch nicht die nichtlineare Kompression. Möglicherweise können diese Faktoren die Reaktion der Funktionselemente bei Lautheitsskalierung in der Praxis beeinflussen. Im Folgenden soll die Auswirkung dieser Faktoren erörtert werden, um die ermittelten Erkenntnisse erfolgreich in die Praxis zu übertragen und damit zu einer besseren Hörsystemversorgung in der Realität beizutragen.

Bei der Untersuchung von Brand und Hohmann (2002) wird das Prüfsignal zweimal für einzelne Frequenz und Lautstärke dargeboten. Dabei betrug die Zeitspanne zwischen Testsignalen 1 s. Außerdem beträgt laut Mueller und Ricketts (2005) die Ausschwingzeit der Störschallunterdrückung, nämlich „offset time“, normalerweise ein paar hundert Millisekunden beziehungsweise einige Sekunden. Darum kann die Ausschwingzeit kürzer sein als die Intervalle zwischen Prüfsignalen. Wenn der Zeitabstand der Darbietung vom Testsignal in der Praxis kürzer wäre als die Ausschwingzeit der Funktionselemente, würde die Auswirkung der Funktionselemente in der Praxis noch stärker als die Ergebnisse in der vorliegenden Untersuchung sein.

Zudem wurde die Verstärkung in dieser Untersuchung bei allen Frequenzen linear eingestellt. Dagegen werden die Kompressionen in der Praxis nicht immer linear und zwischen Frequenzen unterschiedlich angepasst. In Bezug darauf forscht Kuk et al. (2002), dass einige Hörgeräte die Kompression und die Störschallunterdrückung kombinieren. Dabei können Kompressionen die maximale Wirkung der Störschallunterdrückung beeinflussen. Deshalb könnte der hier eingeschätzte Einfluss der Störschallunterdrückung mithilfe dieser Untersuchung anders sein als in der Praxis, wenn die Kompression nichtlinear eingestellt wäre. Unter Berücksichtigung dieser vorhandenen Kenntnisse und in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse, kann in Zukunft eine effektivere Hörsystemanpassung mit Hilfe der Lautheitsskalierung erreicht werden.

Die durchgeführte Untersuchung und Interpretationen lieferten uns Informationen darüber, wie die Hörsysteme auf die Testsignale der Lautheitsskalierung reagieren und wie die Frequenzen oder die Lautstärken der Testsignale die Reaktion der Hörsysteme beeinflussen. Die vorliegende Arbeit zieht das Fazit, dass die Hörsysteme zwar unterschiedlich reagieren, trotzdem stimmten einzelne Ergebnisse in mehreren Fällen mit den bisherigen Studien überein. Die ausführliche Untersuchung von diversen Hörsystemen unter Berücksichtigung von Auswirkungen der Funktionselemente hat uns erfolgreich zum Ziel geführt.

## 5 Schlussfolgerung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden die Reaktionen der verschiedenen Hörsysteme auf Terzbandrauschen bei entsprechenden Frequenzen und Eingangspegeln untersucht. Damit wurden die Wirkungen der Funktionselemente und die Einflüsse auf die Ergebnisse der Lautheitsskalierung gemessen und interpretiert.

Die gewonnenen Erkenntnisse in der Untersuchung und Diskussion sind nachfolgend darstellt.

- 1) Die Hörgeräte reagieren auf Testsignale der Lautheitsskalierung unterschiedlich.
- 2) Die Reaktion der Hörsysteme hängt von Eingangspegeln und von Frequenzen ab.
- 3) Die Funktionselemente, zumindest Störschallunterdrückung, reagieren auf das Testsignal der Lautheitsskalierung und reduzieren die Verstärkung.
- 4) Einige Hörsysteme, bei denen die Funktionselemente ausgeschaltet sind, reduzieren des Öfteren die Verstärkung.
- 5) Die Funktionselemente der Phonak-Hörsysteme reagieren während der Darbietung des Testsignals bei der Lautheitsskalierung kaum auf Terzbandrauschen. Andererseits reduzieren die Funktionselemente der Siemens-Geräte bis zum Zeitpunkt von 2 s die Verstärkung bei bestimmten Testbedingungen.

Von den künftigen Forschungen wird erwartet, dass über die Reduktionsursache noch weitere Details bekannt werden und dass überprüft wird, wie sich die Reduktion beim Probanden auswirkt.

## 6 Literaturverzeichnis

### Normen und Lichtlinien

- DIN EN ISO 8253-2:2009: Akustik - Audiometrische Prüfverfahren - Teil 2: Schallfeld-Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Prüfsignalen.
- DIN EN 60118-2: Akustik - Hörgeräte - Teil 2: Hörgeräte mit automatischer Verstärkungsregelung.
- DIN EN 60118-7:2005: Akustik -Hörgeräte - Teil 7: Messung der Übertragungseigenschaften von Hörgeräten zum Zwecke der Qualitätssicherung in der Herstellung, Versorgung und Lieferung.
- DIN IEC 60118-15:2012: Akustik -Hörgeräte - Teil 15: Methoden zur Charakterisierung der Signalverarbeitung in Hörgeräten.
- DIN ISO 16832:2006: Akustik - Lautheitsskalierung mittels Kategorien.
- DIN ISO 226:2003: Akustik - Normalkurven gleicher Lautstärkepegel.

### Literatur

- Agnew, J. (1996). Acoustic feedback and other audible artifacts in hearing AIDS. *Trends Amplif*, 1(2), 45–82.
- Alcantara, J. L., Moore, B. C., Kuhnel, V., & Launer, S. (2003). Evaluation of the noise reduction system in a commercial digital hearing aid. *International Journal of Audiology*, 42(1), 34–42.
- Al-Salim, S. C., Kopun, J. G., Neely, S. T., Jesteadt, W., Stiegemann, B., & Gorga, M. P. (2010). Reliability of categorical loudness scaling and its relation to threshold. *Ear Hear*, 31(4), 567–578.
- Appell, J.-E. (2002). Loudness models for rehabilitative audiology. Universität Oldenburg.
- Bentler, R., & Chiou, L. K. (2006). Digital Noise Reduction: An Overview. *TRENDS AMPLIF*, 10(2), 67–82.
- Bentler, R., & Mueller, H. G. (2009). Hearing Aid Technology. In J. Katz (Ed.), *Handbook of clinical audiology* (6th ed., pp. 776–793). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.



- Bentler, R., & Wu, Y.-H. (2013). Hearing Aid Technology and the Importance of Verification. In J. J. Montano & J. B. Spitzer (Eds.), *Adult audiology rehabilitation* (2nd ed., pp. 137–156). San Diego, CA: Plural Pub.
- Blamey, P. J., & Martin, L. F. (2009). Loudness and Satisfaction Ratings for Hearing Aid Users. *J Am Acad Audiol*, 20(4), 272–282.
- Bonding, P. (1979). Critical bandwidth in loudness summation in sensorineural hearing loss. *Br J Audiol*, 13(1), 23–30.
- Boymans, M., & Dreschler, W. A. (2000). Field trials using a digital hearing aid with active noise reduction and dual-microphone directionality. *Audiology*, 39(5), 260–268.
- Brand, Thomas (2007): *Loudness scaling*. 8. EFAS Congress.
- Brand, T., & Hohmann, V. (2002). An adaptive procedure for categorical loudness scaling. *J Acoust Soc Am*, 112(4), 1697–1604.
- Brunner, H.-R., & Nöldeke, I.-L. (2001). *Das Ohr: Anatomie, Pathologie und Physiologie des Ohres für Hörgeräteakustiker, Logopäden und audiologische Assistenzberufe* (2nd ed., p. 56). Stuttgart, New York: Thieme.
- Bustamante, D. K., Worrall, T. L., & Williamson, M. J. (1989) Measurement and adaptive suppression of acoustic feedback in hearing aids. In *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing* (pp. 2017–2020).
- Buus, S., Florentine, M., & Poulsen, T. (1997). Temporal integration of loudness, loudness discrimination, and the form of the loudness function. *J Acoust Soc Am*, 101(2), 669–680.
- Chalupper, J., & Powers, T. A. (2007). New algorithm is designed to take the annoyance out of transient noise. *The Hearing Journal*, 60(7), 42–48.
- Chalupper, J., Wu, Y.-H., & Weber, J. (2011a). New algorithm automatically adjusts directional system for special situations. *The Hearing Journal*, 64(1), 26–33.
- Chang, W.-H., Tseng, H.-C., Chao, T.-K., Hsu, C.-J., & Liu, T.-C. (2008). Measurement of hearing aid outcome in the elderly: Comparison between young and old elderly. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 138(6), 730–734.
- Chasin, M. (2003). Music and hearing aids. *The Hearing Journal*, 56(7), 36–41.

- Chung, K. (2004a). Challenges and Recent Developments in Hearing Aids: Part I. Speech Understanding in Noise, Microphone Technologies and Noise Reduction Algorithms. *Trends Amplif*, 8(3), 83–124.
- Chung, K. (2004b). Challenges and Recent Developments in Hearing Aids: Part II. Feedback and Occlusion Effect Reduction Strategies, Laser Shell Manufacturing Processes, and Other Signal Processing Technologies. *Trends Amplif*, 8(4), 125–164.
- Dillon, H. (2012). *Hearing Aids* (2nd ed.). Stuttgart, New York: Thieme.
- Dyrlund, O., & Lundh, P. (1990). Gain and feedback problems when fitting behind-the-ear hearing aids to profoundly hearing-impaired children. *Scand Audiol*, 19(2), 89–95.
- Elberling, C. (1999). Loudness scaling revisited. *Journal of the American Academy of Audiology*, 10(5), 248–260.
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). *Psychoacoustics: Facts and models* (3rd ed.). *Springer series in information sciences: Vol. 22*. Berlin, New York: Springer.
- Florentine, M., Buus, S., & Mason, C. R. (1987). Level discrimination as a function of level for tones from 0.25 to 16 kHz. *J Am Acad Audiol*, 81(5), 1528–1541.
- Fowler, E. P. (1950). The recruitment of loudness phenomenon. *The Laryngoscope*, 60(7), 680–695.
- Freed, D. J., & Soli, S. D. (2006). An objective procedure for evaluation of adaptive antifeedback algorithms in hearing aids. *Ear Hear*, 27(4), 382–398.
- Gabriel, B. (2001). Nutzen moderner Hörgeräte-Features für Hörgeräte-Träger am Beispiel eines speziellen Hörgeräte-Typs. *Zeitschrift für Audiologie*, 40(1), 16–31.
- Gnewikow, D., Ricketts, T., Bratt, G. W., & Mutchler, L. C. (2009). Real-world benefit from directional microphone hearing aids. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 46(5), 603–618.
- Graupe, D., Grosspietsch, J. K., & Basseas, S. P. (1987). A single-microphone-based self-adaptive filter of noise from speech and its performance evaluation. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 24(4), 119–126.
- Groth, J. (1999). Digital signal processing has made active feedback suppression a reality. *Hearing Journal*, 52(5), 32–36.
- Harry Levitt. (2001). Noise reduction in hearing aids: A review. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 38(1), 111–121.

- Heger, D., & Holube, I. (2010). Wie viele Menschen sind schwerhörig. *Zeitschrift für Audiologie*, 49(2), 61–70.
- Hellbruck, J., & Moser, L. M. (1986). Psychophysical measurements of inner ear processes with category scaling of loudness. *ORL; journal for oto-rhino-laryngology and its related specialties*, 48(2), 135–136.
- Hellman, R. P. (1961). Some Factors Affecting the Estimation of Loudness. *J Acoust Soc Am*, 33(5), 687–694.
- Henderson, D., & Hamernik, R. P. (1986). Impulse noise: critical review. *J Acoust Soc Am*, 80(2), 569–584.
- Hu, Y., & Loizou, P. C. (2007). A comparative intelligibility study of single-microphone noise reduction algorithms. *J Acoust Soc Am*, 122(3), 1777–1786.
- Jesteadt, W., & Joshi, S. N. (2013). Reliability of procedures used for scaling loudness. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19(1), 50023.
- Jurgens, T., Kollmeier, B., Brand, T., & Ewert, S. D. (2011). Assessment of auditory nonlinearity for listeners with different hearing losses using temporal masking and categorical loudness scaling. *Hear Res*, 280(1-2), 177–191.
- Kießling, J. (2001). Hearing aid fitting procedures--state-of-the-art and current issues. *Scandinavian audiology. Supplementum*. (52), 57–59.
- Kießling, J. (2004). *Skalierungsverfahren in der Audiometrie*. 7. DGA Jahrestagung.
- Kießling, J. (2006). *Hörgerätetechnologie heute*. 9. DGA Jahrestagung.
- Kießling, J., Pfreimer, C., & Schubert, M. (1996). Rekrutmentnachweis: Kategorial-Lautheitsskalierung und klassische überschwellige Audiometrie im Vergleich. *Laryngo-, Rhino-, Otologie*, 75(1), 10–17.
- Kim, H. H., & Barrs, D. M. (2006). Hearing aids: a review of what's new. *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 134(6), 1043–1050.
- Kinkel, M. (2002). *Über den Zusammenhang zwischen Diagnose, Audiometrie und Hörgeräteanpassung*. 5. DGA Jahrestagung.
- Kochkin, S. (2005). MarkeTrak VII. *The Hearing Journal*, 58(9), 30–43.
- Kollmeier, B. (1997). *Hörflächenskalierung – Grundlagen und Anwendungen der kategorialen Lautheitsskalierung für die Hördiagnostik und Hörgeräte-Versorgung* (Audiologische Akustik). Heidelberg: Median-Verlag.

- Kollmeier, B., Kießling, J., & Diller, G. (2008). *Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten* (2nd ed.). Stuttgart: Thieme.
- Kollmeier, B., & Koch, R. (1994). Speech enhancement based on physiological and psychoacoustical models of modulation perception and binaural interaction. *J Acoust Soc Am*, 95(3), 1593–1602.
- Kuk, F., Ludvigsen, C., & Paludan-Müller, C. (2002). Improving hearing aid performance in noise. *The Hearing Journal*, 55(4), 34–46.
- Kuk, F. K., Baekgaard, L., & Ludvigsen, C. (2002). Using digital signal processing to enhance the performance of dual microphones. *The Hearing Journal*, 55(1), 35–43.
- Launer, S., Holube, I., Hohmann, V., & Kollmeier, B. (1996). Categorical loudness scaling in hearing-impaired listeners-Can loudness growth be predicted from the audiogram? *Audiological Acoustics*, 35, 156–163.
- Lehnhardt, E., & Laszig, R. (2009). *Praxis der Audiometrie* (9th ed.). Stuttgart, New York: Thieme.
- Maryanne, T.-M. (2014). *A Dictionary of Hearing*. New York, Stuttgart: Thieme.
- Montano, J. J., & Spitzer, J. B. (2013). *Adult audiologic rehabilitation* (2nd ed.). San Diego, CA: Plural Pub.
- Moore, B. C. (2013). Modeling loudness for impaired ears and applications to fitting hearing aids. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19(1), 50185.
- Moser, L. M. (1996). Das Würzburger Hörfeld –kategoriale Lautheitsskalierung. *HNO*, 44(10), 556–558.
- Mueller, H. G. (2002). A candid round-table discussion on modern digital hearing aids and their features. *The Hearing Journal*, 55(10), 23–35.
- Mueller, H. G., & Ricketts, T. A. (2005). Digital noise reduction: Much ado about something? *The Hearing Journal*, 58(1), 10–18.
- Müller-Kortkamp, C. K. M., & Moser, L. M. (2006). *Vergleich der alten Würzburger Hörfeldaudiometrie mit der neuen Würzburger Hörfeldaudiometrie nach ISO/DIS 16832*. 9. DGA Jahrestagung.
- Nabelek, A. K. (2005). Acceptance of background noise may be key to successful fittings. *The Hearing Journal*, 58(4), 10–15.

- Nieschalk, M., Schmä, F., Delank, K.-W., & Stoll, W. (1999). Die kategoriale Lautheitsskalierung Ein Beitrag zur Lautheitswahrnehmung bei kochleären und retro-kochleären Hörstörungen. *HNO*, 47(9), 787–795.
- Peeters, H., Kuk, F., Lau, C.-c., & Keenan, D. (2009). Subjective and Objective Evaluation of Noise Management Algorithms. *J am acad audiol*, 20(2), 89–98.
- Ricketts, T. A., & Hornsby, B. W. (2005). Sound quality measures for speech in noise through a commercial hearing aid implementing digital noise reduction. *J am acad audiol*, 16(5), 270–277.
- Robinson, K., & Gatehouse, S. (1996). Test-retest reliability of loudness scaling. *Ear Hear*, 17(2), 120–123.
- Roeser, R. J., Valente, M., & Hosford-Dunn, H. (2007). *Audiology: Diagnosis* (2nd ed.). New York: Thieme.
- Schaub, A. (2005). *Digitale Hörgeräte: Was steckt dahinter?* Heidelberg: Median-Verlag.
- Schorn, K. (2004). Hörgeräteüberprüfung in der Praxis. *HNO*, 52(10), 875–885.
- Schubert, M., Kießling, J., & Pfreimer, C. (1996). Rekrutmentnachweis: Kategoriale-Lautheitsskalierung und klassische überschwellige Audiometrie im Vergleich. *Laryngo-, Rhino-, Otologie*, 75(1), 10–17.
- Schum, D. J. (2003). Noise-reduction circuitry in hearing aids. *The Hearing Journal*, 56(6), 32–41.
- Smeds, K., Keidser, G., Zakis, J., Dillon, H., Leijon, A., Grant, F., Brew, C. (2006). Preferred overall loudness. II: Listening through hearing aids in field and laboratory tests. *International Journal of Audiology*, 45(1), 12–25.
- Stevens, S. S. (1955). The Measurement of Loudness. *J Acoust Soc Am*, 27(5), 815–829.
- Strasser, F., & Puder, H. (2015). Adaptive Feedback Cancellation for Realistic Hearing Aid Applications. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 23(12), 2322–2333.
- Trees, D. E., & Turner, C. W. (1986). Spread of masking in normal subjects and in subjects with high-frequency hearing loss. *Audiology*, 25(2), 70–83.
- Tyler, R. (2003). Audiologische Messmethoden der Hyperakusis. In C. Bergan & M. Nelting (Eds.), *Hyperakusis. Frühzeitig erkennen, aktiv behandeln* (pp. 39–46). Stuttgart: Thieme.

- Ulrich, J., & Hoffmann, E. (2011). *Hörakustik 2.0: Theorie und Praxis* (2. Aufl.). Heidelberg: DOZ.
- Ulrich, J., & Hoffmann, E. (2012). *Hörakustik - Lernen + Wissen: Band 2: Praxis*. Heidelberg: DOZ.
- Uwe, B., & Schorn, K. (1999). Anpassung und Überprüfung von Hörhilfen mit verschiedenen Verfahren der Hörflächenskalierung. *Zeitschrift für Audiologie*, 191–197.
- Walden, B. E., Surr, R. K., Cord, M. T., Edwards, B., & Olson, L. (2000). Comparison of benefits provided by different hearing aid technologies. *J Am Acad Audiol*, 11(10), 540–560.
- Weber, J., Mueller, H. G., & Hornsby, B. W. (2006). The effects of digital noise reduction on the acceptance of background noise. *Trends Amplif*, 10(2), 83–93.
- Wedel, H., Meister, H., & Walger, M. (2000). Untersuchungen zur Hörflächenskalierung im Rahmen der Hörgeräteversorgung. *HNO*, 48(3), 189–194.
- Zwicker, E. (1982). *Psychoakustik*. Berlin, New York: Springer-Verlag.

### **Internetquellen**

- Baekgaard, L., Knudsen, N. O., Arshad, T., & Andersen, H. P. (2013). Designing hearing aid technology to support benefits in demanding situations, Part 1. *Hearing Review*, 20(3), 42–59. URL: <http://www.hearingreview.com/2013/05/designing-hearing-aid-technology-to-support-benefits-in-demanding-situations-part-2/> [Zugriffsdatum 07.05.2016]
- Burton, P., Smaka, C., & Powers, T. A. (2006). Digital noise reduction: Yes, there is research supporting its effectiveness. *Hearing Review*, 13(3), 82. URL: <http://www.hearingreview.com/2006/03/digital-noise-reduction-yes-there-is-research-supporting-its-effectiveness/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Chalupper, J., & Branda, E. (2008). Comparison of Transient Noise Reduction Systems. *Hearing Review*, 15(1), 20–27. URL: <http://www.hearingreview.com/2008/01/comparison-of-transient-noise-reduction-systems/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Krishnamurti, S., & Anderson, L. (2008). Digital noise reduction processing in hearing aids: How much and where? *Hearing Review*, 15(3), 90–95. URL:

- <http://www.hearingreview.com/2008/03/digital-noise-reduction-processing-in-hearing-aids-how-much-and-where/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Kuk, F., Chi-Chuen, L., Korhonen, P., & Brian, C. (2014). Evaluating Hearing Aid Processing at High and Very High Input Levels. *Hearing Review*, 21(3), 32–35. URL: [www.hearingreview.com/2014/03/evaluating-hearing-aid-processing-at-high-and-very-high-input-levels/](http://www.hearingreview.com/2014/03/evaluating-hearing-aid-processing-at-high-and-very-high-input-levels/) [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Kuk, F., & Ludvigsen, C. (2002). The real-world benefits and limitations of active digital feedback cancellation. *Hearing Review*, 9(4), 64–68. URL: <http://www.hearingreview.com/2002/04/the-real-world-benefits-and-limitations-of-active-digital-feedback-cancellation/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Latzel, M., Kiessling, J., & Margolf-Hackl, S. (2003). Optimizing noise suppression and comfort in hearing instruments. *Hearing Review*, 10(3), 76–82. URL: <http://www.hearingreview.com/2003/03/optimizing-noise-suppression-and-comfort-in-hearing-instruments/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Phonak. (2011). Phonak Insight: Phonak Spice Generation Processing - A new generation of sound classification and directionality. URL: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/wHITE\\_paper/documents/Insight\\_Spice\\_Processing.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/wHITE_paper/documents/Insight_Spice_Processing.pdf) [Zugriffsdatum 15.07.2016]
- Powers, T. A., & Beilin, J. (2013). True advances in hearing aid technology: what are they and where's the proof. *Hearing Review*, 20(1), 32–39. URL: <http://www.hearingreview.com/2013/01/true-advances-in-hearing-aid-technology-what-are-they-and-where-s-the-proof-january-2013-hearing-review/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]
- Siemens. (2015). Technikboschüre - Siemens Hörgeräte. Sivantos. URL: [https://www.bestsound-technology.de/pro/media/2015/06/Technikbroschuere\\_2015.pdf](https://www.bestsound-technology.de/pro/media/2015/06/Technikbroschuere_2015.pdf) [Zugriffsdatum 15.07.2016]
- Steinbuss, A., Powers, T. A., & Chalupper, J. (2011). Combining phase cancellation, frequency shifting, and acoustic fingerprint for improved feedback suppression, 18(1), 24–29. URL: <http://www.hearingreview.com/2011/01/combining-phase-cancellation-frequency-shifting-and-acoustic-fingerprint-for-improved-feedback-suppression/> [Zugriffsdatum 11.06.2016]

**Patent**

Oliver, D., & Henning Puder. (2012), Siemens Audiologische Technik GmbH  
US8107656 B2.



## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Normalkurven gleicher Lautstärkepegel für reine Töne im freien Schallfeld (Eigene Bearbeitung) (DIN ISO 226:2003).....	3
Abbildung 2: Beispiel einer Lautheitsskalierung (links) und elf Antwortmöglichkeiten (rechts) .....	5
Abbildung 3: Beispiel „Normalisierung der Lautheitswahrnehmung“: Die Lautheit von Probanden (rote Linie mit Kreise) und Zielkurve (grüne Linie) ohne (links) und mit (rechts) Hörgerät.....	7
Abbildung 4: OSPL90 – Wiedergabekurve mit 2 cm <sup>3</sup> Kuppler jeweiliger Hörsysteme.....	21
Abbildung 5: Phonak: Verstärkung der Programmen „ruhige Umgebung“ (links) und „laute Umgebung“ (rechts): Verstärkungen beim Programm „Komfort im Störgeräusch“ sind im ganzen Frequenzbereich niedriger als beim Programm „ruhige Umgebung“ .....	24
Abbildung 6: Siemens: Verstärkung der Programmen „Universell“ (links) und „laute Umgebung“ (rechts): Verstärkungen beim Programm „laute Umgebung“ sind nur im tiefen Frequenzbereich niedriger als beim Programm „Universell“ .....	24
Abbildung 7: Ausgangspegel der Phonak V90 (links) und Phonak Q15 (rechts) bei Eingangspegeln von 50 dB SPL (grün), 65 dB SPL (blau), 80 dB SPL (lila) und 100 dB SPL (rot), mittels Chirp-Signal.....	26
Abbildung 8: Ausgangspegel der Siemens bx7 (links) und der Siemens Sirion2 (rechts) bei Eingangspegeln von 50 dB SPL (grün), 65 dB SPL (blau), 80 dB SPL (lila) und 100 dB SPL (rot) mittels Chirp-Signal. Wegen dem Richtmikrofon war es unmöglich, die Verstärkung im hohen Frequenzbereich in der Messbox richtig zu messen.....	26
Abbildung 9: Beispiel der Ausgangspegel bei Eingangspegel von 80 dB SPL des eingestellten Programms „laute Umgebung“ (blau) und der Messeinstellung (rot) mittels Chirp-Signal von Siemens bx7 (links) und Siemens Sirion2 (rechts). ....	27
Abbildung 10: Versuchsaufbau von der Seite (links) und von hinten (rechts). ....	29
Abbildung 11: Differenz zwischen dem running Leq (rot) und dem Ausgangspegel (grün) mittels Fast-Zeitbewertung. ....	30
Abbildung 12 : Abgelesene Punkte in dieser Untersuchung: Anfangszeit der Reduzierung ( $t_s$ ), Endzeit der Reduzierung ( $t_e$ ), Ausgangspegel bei 0 s ( $L_0$ ), bei 2 s ( $L_2$ ) und minimaler Ausgangspegel ( $L_{min}$ ).....	32
Abbildung 13: Phonak V90 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....	36
Abbildung 14: Phonak V90 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei	

den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	37
<b>Abbildung 15: Phonak V90 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....</b>	<b>39</b>
<b>Abbildung 16: Phonak V90 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....</b>	<b>40</b>
<b>Abbildung 17: Phonak V90 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....</b>	<b>42</b>
<b>Abbildung 18: Phonak V90 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....</b>	<b>43</b>
<b>Abbildung 19: Phonak Q15 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....</b>	<b>45</b>
<b>Abbildung 20: Phonak Q15 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....</b>	<b>46</b>
<b>Abbildung 21: Phonak Q15 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....</b>	<b>49</b>
<b>Abbildung 22: Phonak Q15 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....</b>	<b>50</b>

- Abbildung 23: Phonak Q15 SU: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün)..... 52**
- Abbildung 24: Phonak Q15 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. .... 53**
- Abbildung 25: Siemens bx7 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün)..... 55**
- Abbildung 26: Siemens bx7 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. .... 56**
- Abbildung 27: Siemens bx7 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün)..... 58**
- Abbildung 28: Siemens bx7 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. .... 59**
- Abbildung 29: Siemens bx7 SU: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün)..... 61**
- Abbildung 30: Siemens bx7 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. .... 62**
- Abbildung 31: Siemens Sirion2 AUS: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den**

	entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....	64
Abbildung	32: Siemens Sirion2 AUS: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	65
Abbildung	33: Siemens Sirion2 AN: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....	67
Abbildung	34: Siemens Sirion2 AN: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	68
Abbildung	35: Siemens Sirion2 SU: Durchschnittlicher Zeitverlauf der Ausgangspegel bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 4000 Hz und 6000 Hz bei den entsprechenden Eingangspegeln von 50 dB SPL (blau), 60 dB SPL (orange), 70 dB SPL (grau), 80 dB SPL (gelb), 90 dB SPL (dunkelblau) und 100 dB SPL (grün).....	70
Abbildung	36: Siemens Sirion2 SU: Durchschnittliche Differenz bei fünf Messungen zwischen dem Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden und dem niedrigsten Ausgangspegel während der Messung bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	71
Abbildung	37: Phonak V90 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	72
Abbildung	38: Phonak V90 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	73
Abbildung	39: Phonak Q15 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL. ....	74

- Abbildung 40: Phonak Q15 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL..... 75**
- Abbildung 41: Siemens bx7 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL..... 76**
- Abbildung 42: Siemens bx7 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL..... 77**
- Abbildung 43: Siemens Sirion2 Differenz zwischen (AN – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen AN und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL..... 78**
- Abbildung 44: Siemens Sirion2 Differenz zwischen (SU – AUS): Durchschnittliche Differenz der Ausgangspegel bei 2 s zwischen Programmen SU und AUS bei fünf Messungen bei den jeweiligen Frequenzen von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 6000 Hz und bei den jeweiligen Eingangspegeln von 50 dB SPL, 60 dB SPL, 70 dB SPL, 80 dB SPL, 90 dB SPL und 100 dB SPL..... 79**
- Abbildung 45: Phonak V90 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ , n=5), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .115**
- Abbildung 46: Phonak V90 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ , n=5), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .116**
- Abbildung 47: Phonak V90 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ , n=5), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .117**
- Abbildung 48: Phonak Q15 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ , n=5), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .118**
- Abbildung 49: Phonak Q15 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ , n=5), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .119**
- Abbildung 50: Phonak Q15 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ , n=5), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .120**

- Abbildung 51: Siemens bx7 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ ( $MW \pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .121
- Abbildung 52: Siemens bx7 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ ( $MW \pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .122
- Abbildung 53: Siemens bx7 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ ( $MW \pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .123
- Abbildung 54: Siemens Sirion2 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ ( $MW \pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .124
- Abbildung 55: Siemens Sirion2 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ ( $MW \pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .125
- Abbildung 56: Siemens Sirion2 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ ( $MW \pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .126

---

## 8 Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle</b>	<b>1: Übersicht der Bestimmung nach DIN ISO 16832:2006. ....</b>	<b>8</b>
<b>Tabelle</b>	<b>2: Übersicht über Mittenfrequenzen der einstellbaren Kanäle jedes Hörgeräts und die Frequenzbreiten der entsprechenden Terzbandrauschen. ....</b>	<b>21</b>
<b>Tabelle</b>	<b>3: Übersicht über die verwendeten Konfigurationen der Funktionselemente. ....</b>	<b>28</b>

## 9 Abkürzungsverzeichnis

Zeichen	Bedeutung
Abb.	Abbildung
ACALOS	Lautheitsskalierungsverfahren "Adaptive Categorical Loudness Scaling"
AGCi	Eingangspegelgesteuerte Regelsysteme (engl. Automatic Gain Control – input controlled)
AGCo	Ausgangspegelgesteuerte Regelsysteme (engl. Automatic Gain Control – output controlled)
AN	Vom Hersteller empfohlene Einstellung der Funktionselemente verwendetes Programm
AUS	Adaptive Funktionselemente ausgeschaltetes Programm
dB	Dezibel
Hz	Hertz
HL	Hearing Level
L <sub>0</sub>	Ausgangspegel am Zeitpunkt 0 Sekunden
L <sub>2</sub>	Ausgangspegel am Zeitpunkt 2 Sekunden
Leq	Äquivalenter Dauerschallpegel
L <sub>min</sub>	Minimale Ausgangspegel
LTASS	Langzeitgemittelttes Sprachspektrum (engl. Long-term average speech spectrum)
Ms	Millisekunden
MPO	Maximum Pressure Output
MW	Mittelwert
OSPL90	Ausgangsschalldruckpegel für einen Eingangsschalldruckpegel von 90dB (engl. Output Sound Pressure Level at 90dB input level)
Phonak Q15	Phonak Baseo Q15-M
Phonak V90	Phonak Bolero V90-M
Siemens bx7	Siemens Motion SX binax7
s	Sekunden
Siemens Sirion2	Siemens Sirion 2 M
SL	Sensation Level
SNR	Signal-Rausch-Abstand (engl. signal-to-noise ratio)
SPL	Sound Pressure Level
SU	nur Störschallunterdrückung eingeschaltetes Programm
t <sub>e</sub>	Endzeit der Reduzierung des Ausgangspegels
t <sub>s</sub>	Anfangszeit der Reduzierung des Ausgangspegels
cm <sup>3</sup>	Kubikzentimeter



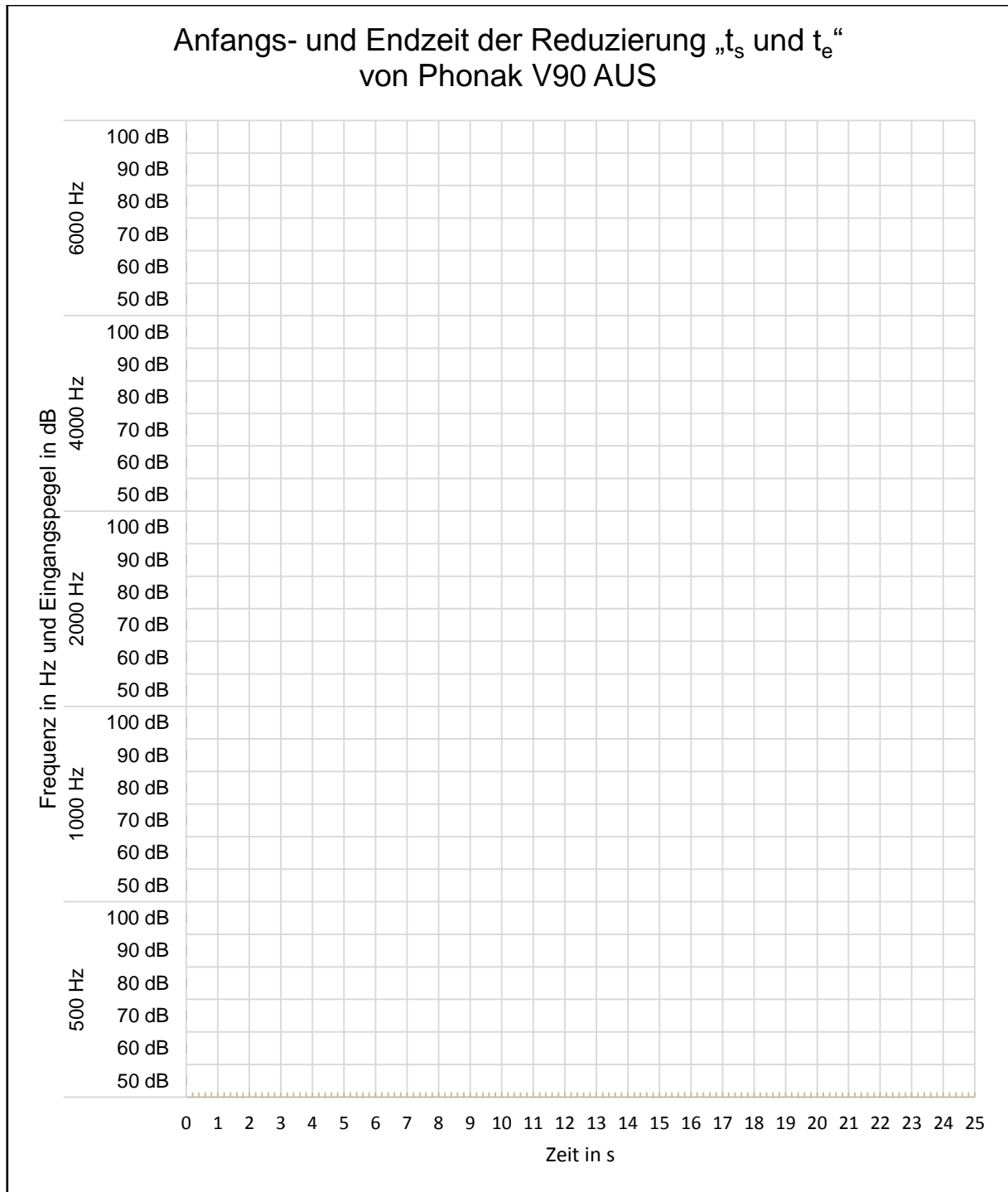
## Anhang

### A: Verwendete Software

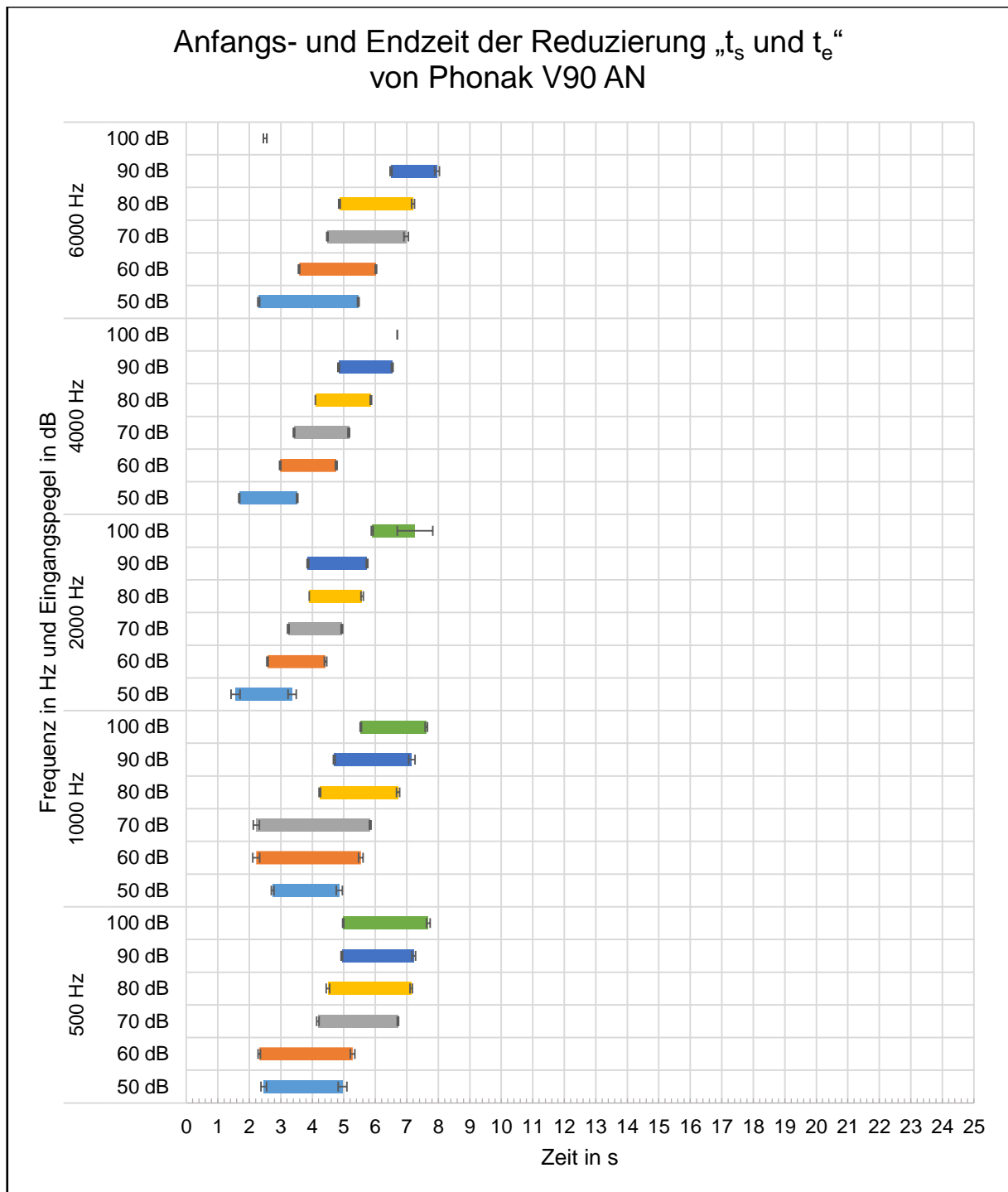
Ableton Live 8	Version 8.2.1
ACAM 5	Version 5.14.0.3771
Connexx 8	Version 8.1.163
LabVIEW SignalExpress	Version 10.0.1
Phonak Target	Version 4.2.0.14047

### B: Zusammenhang zwischen Eingangspegel und Anfangs- und Endzeit der Reduzierung

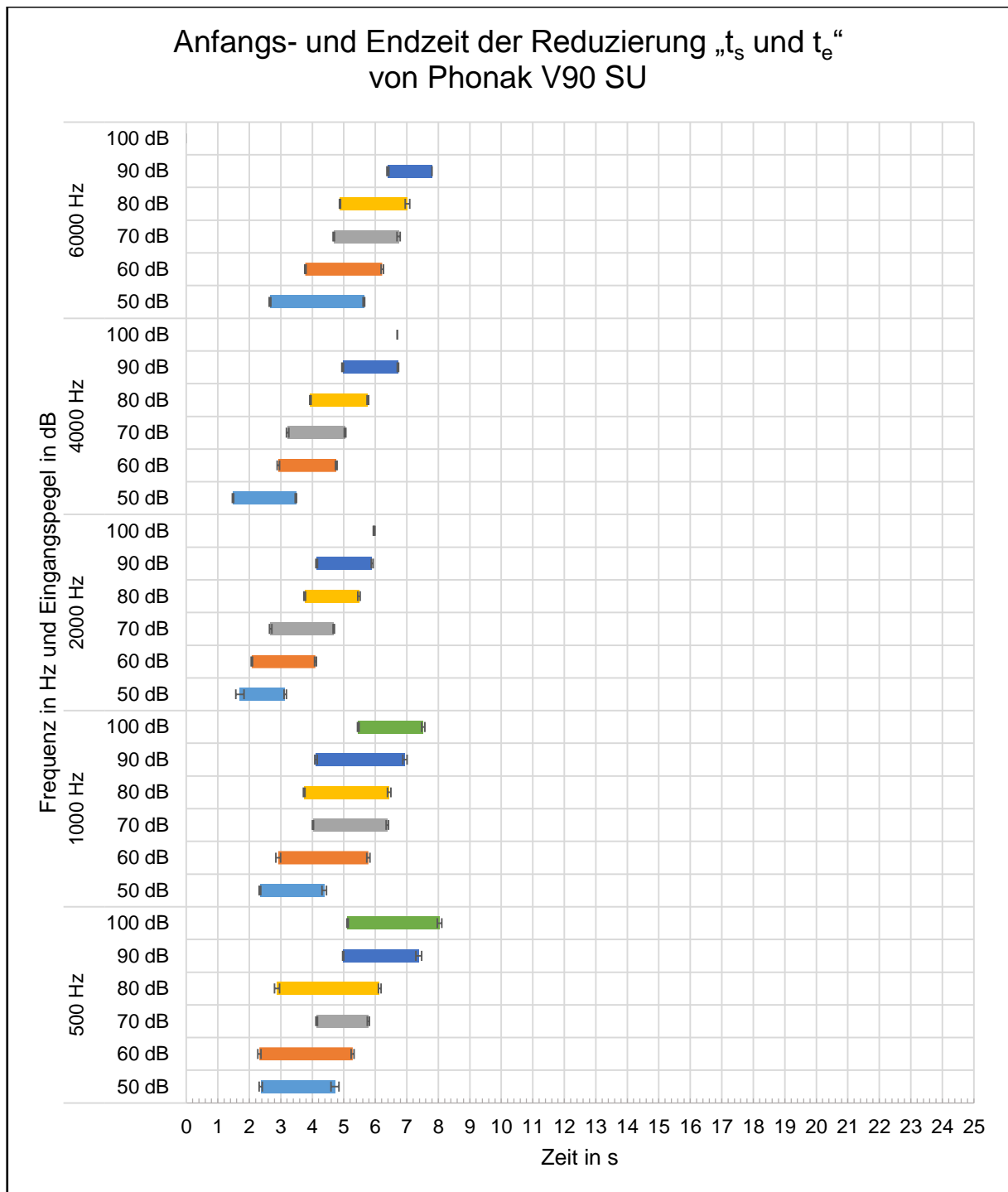
Folgende Balkendiagramme visualisierten Daten in Bezug auf die Zeit der Reduzierung der Verstärkung, um einen Zusammenhang zwischen den Eingangspegel und der Zeit auszuwerten. Die Abb. 45 bis 56 stellen den Mittelwert (MW) von 5 Messungen und Standardfehler in Bezug auf die Anfangszeit der Reduzierung ( $t_s$ ) (linkes Ende der Balken) und Endzeit der Reduzierung ( $t_e$ ) (rechtes Ende der Balken) vom Ausgangspegel bei den jeweiligen Eingangspegeln und Frequenzen dar. Die Balkenlänge zeigt die Zeitdauer der Reduzierung vom Ausgangspegel zwischen Anfangs- und Endzeit der Reduzierung. Kein Balken heißt, dass sich der Ausgangspegel nicht reduziert oder dass die Reduktion der Verstärkung unterhalb von 1 dB aufweist.



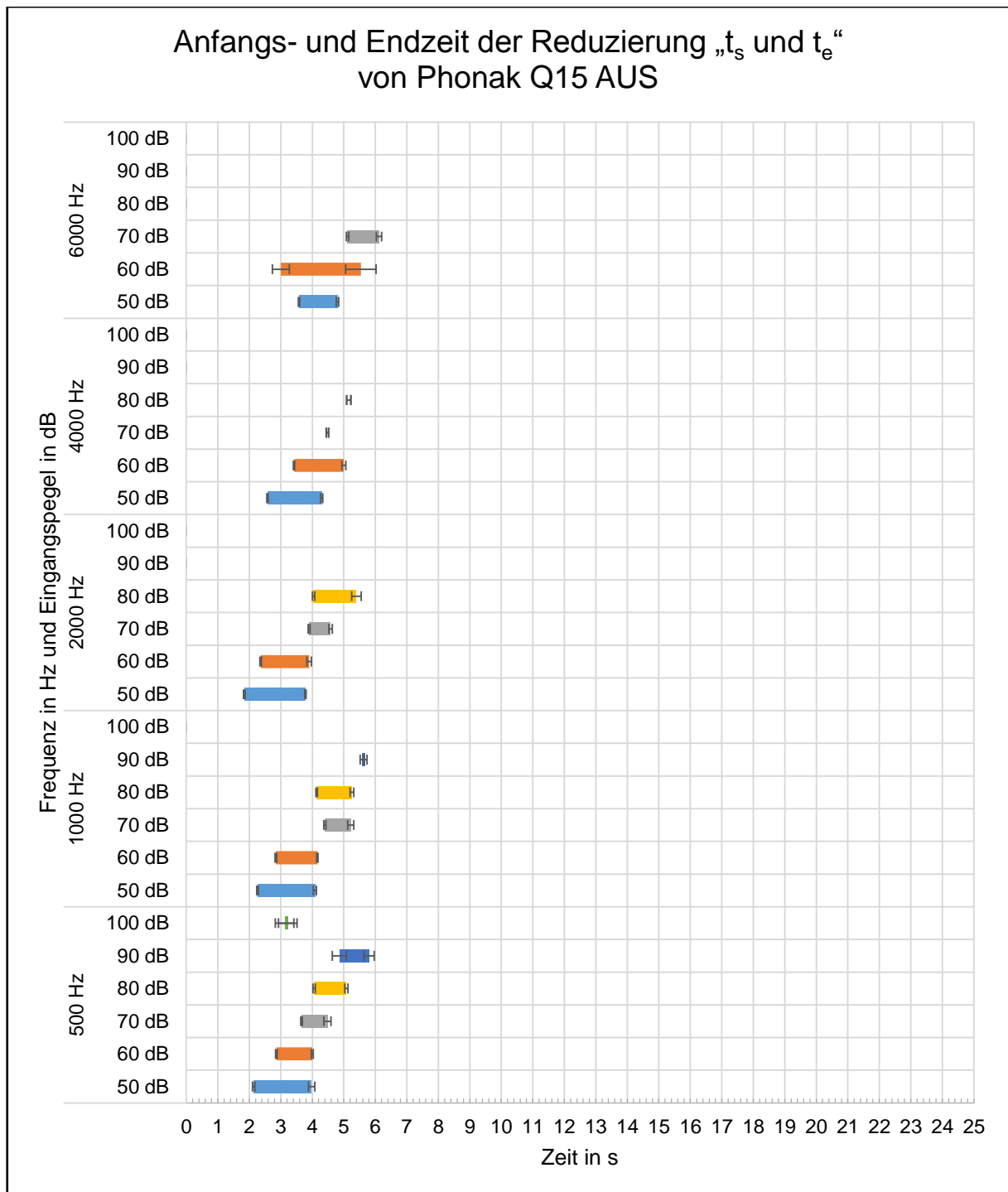
**Abbildung 45: Phonak V90 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



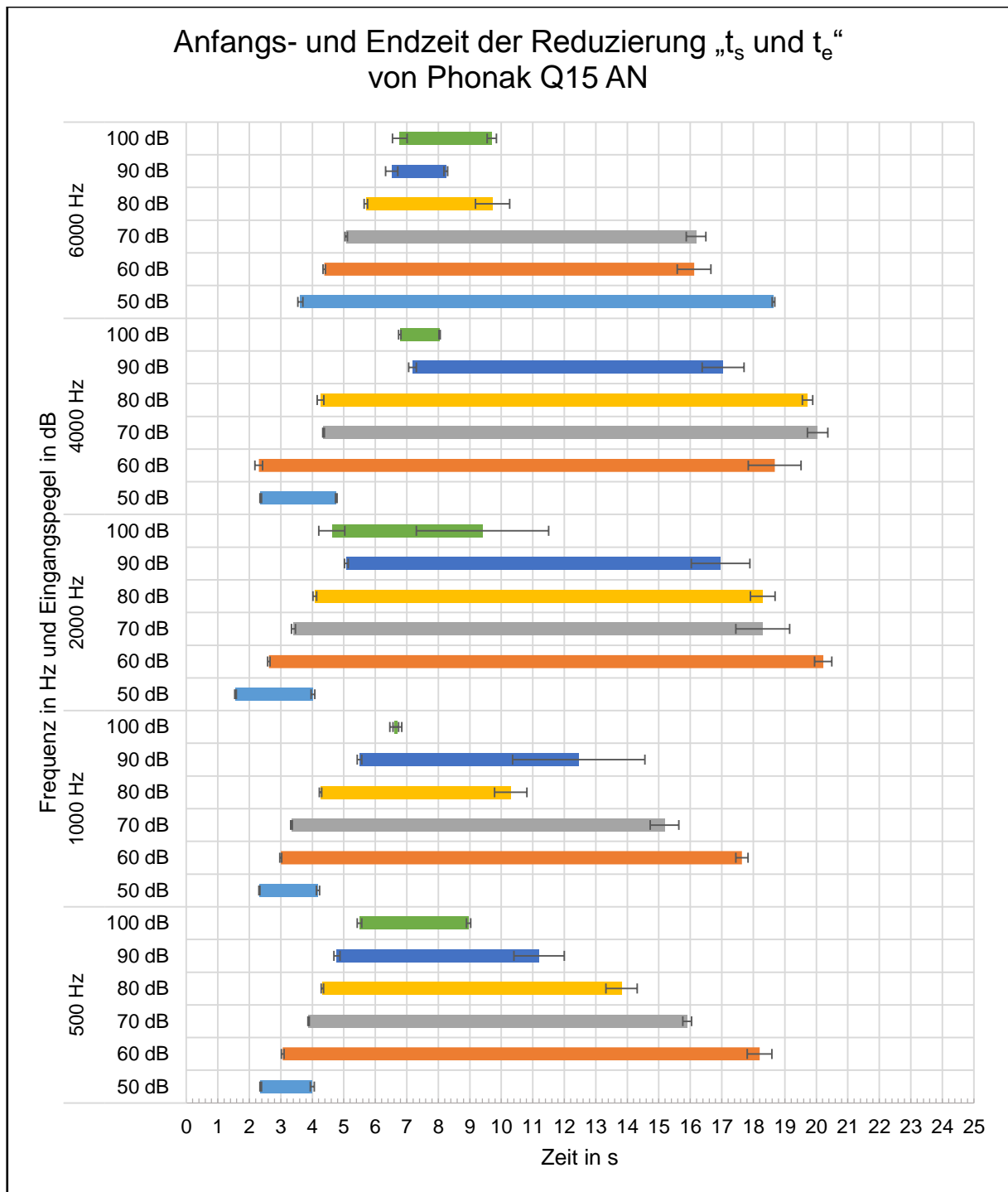
**Abbildung 46: Phonak V90 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



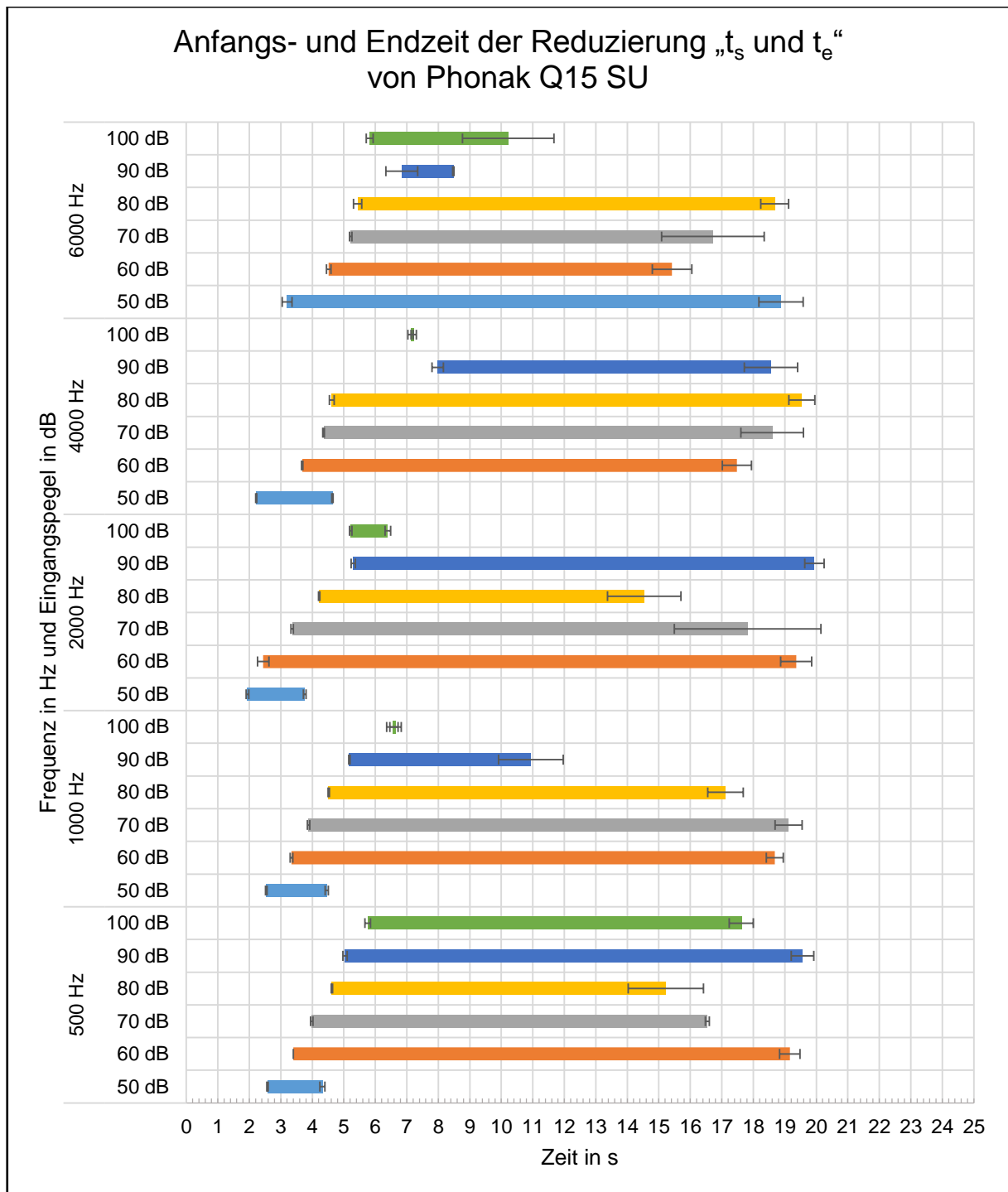
**Abbildung 47: Phonak V90 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



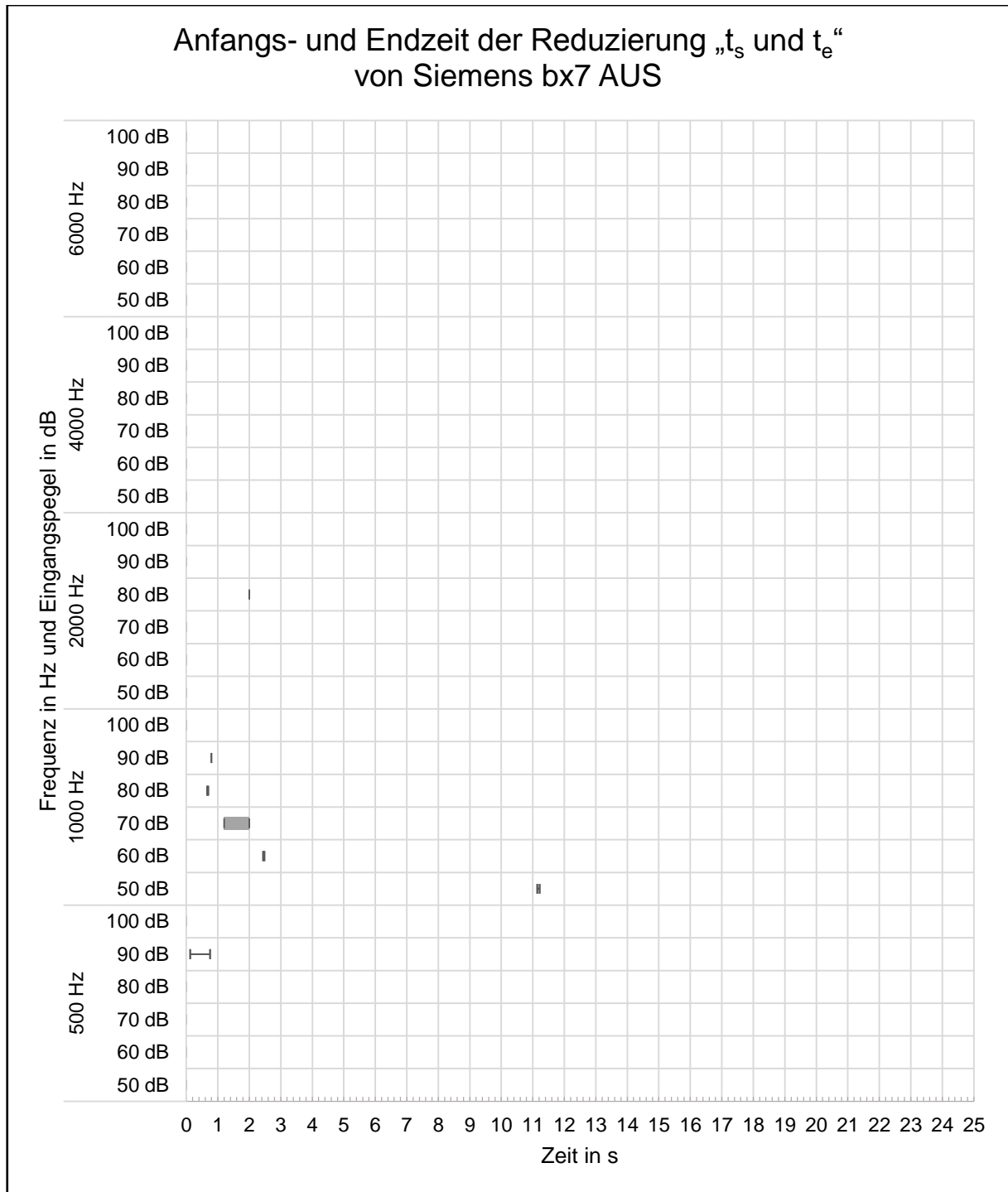
**Abbildung 48: Phonak Q15 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



**Abbildung 49: Phonak Q15 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**

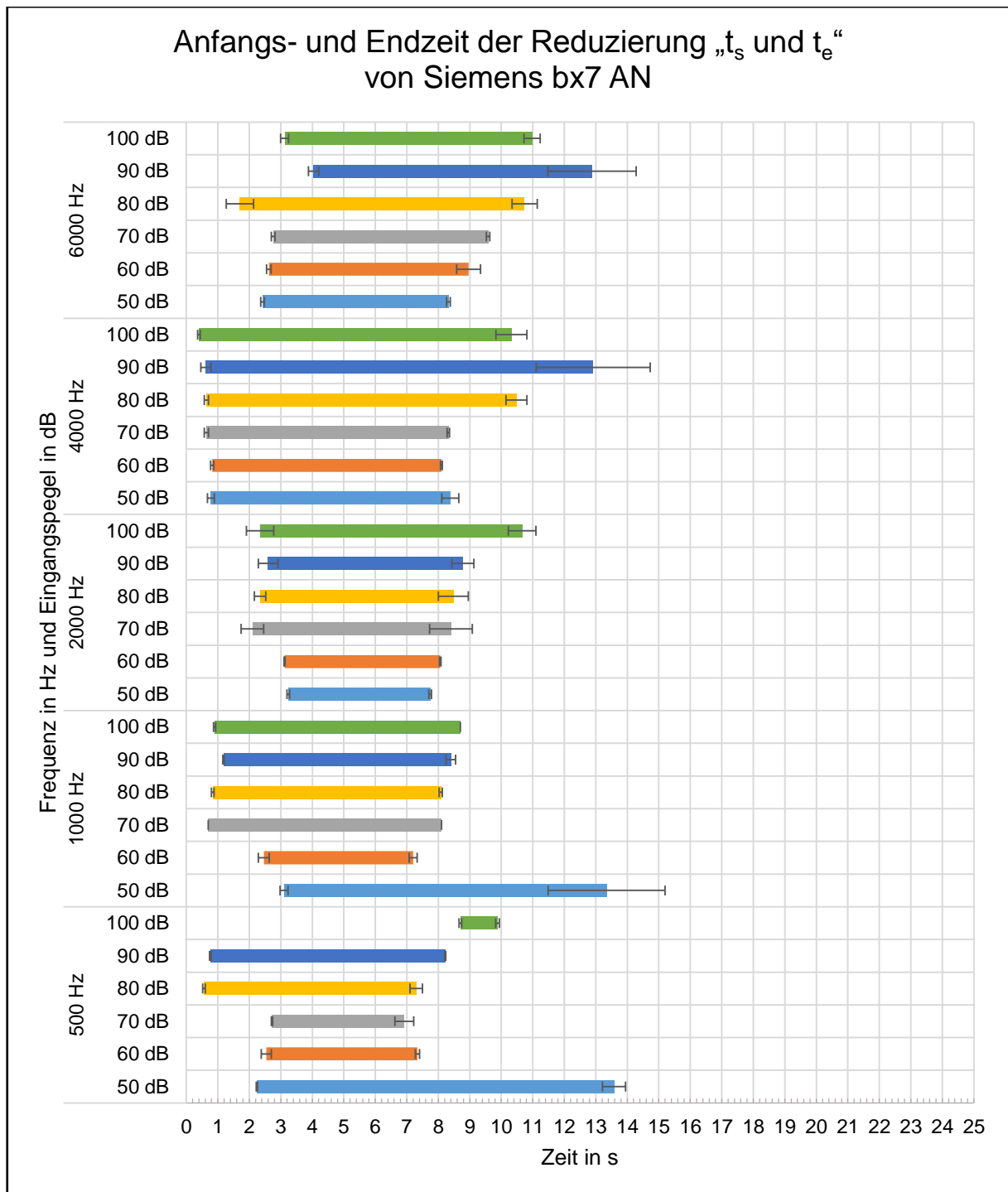


**Abbildung 50: Phonak Q15 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**

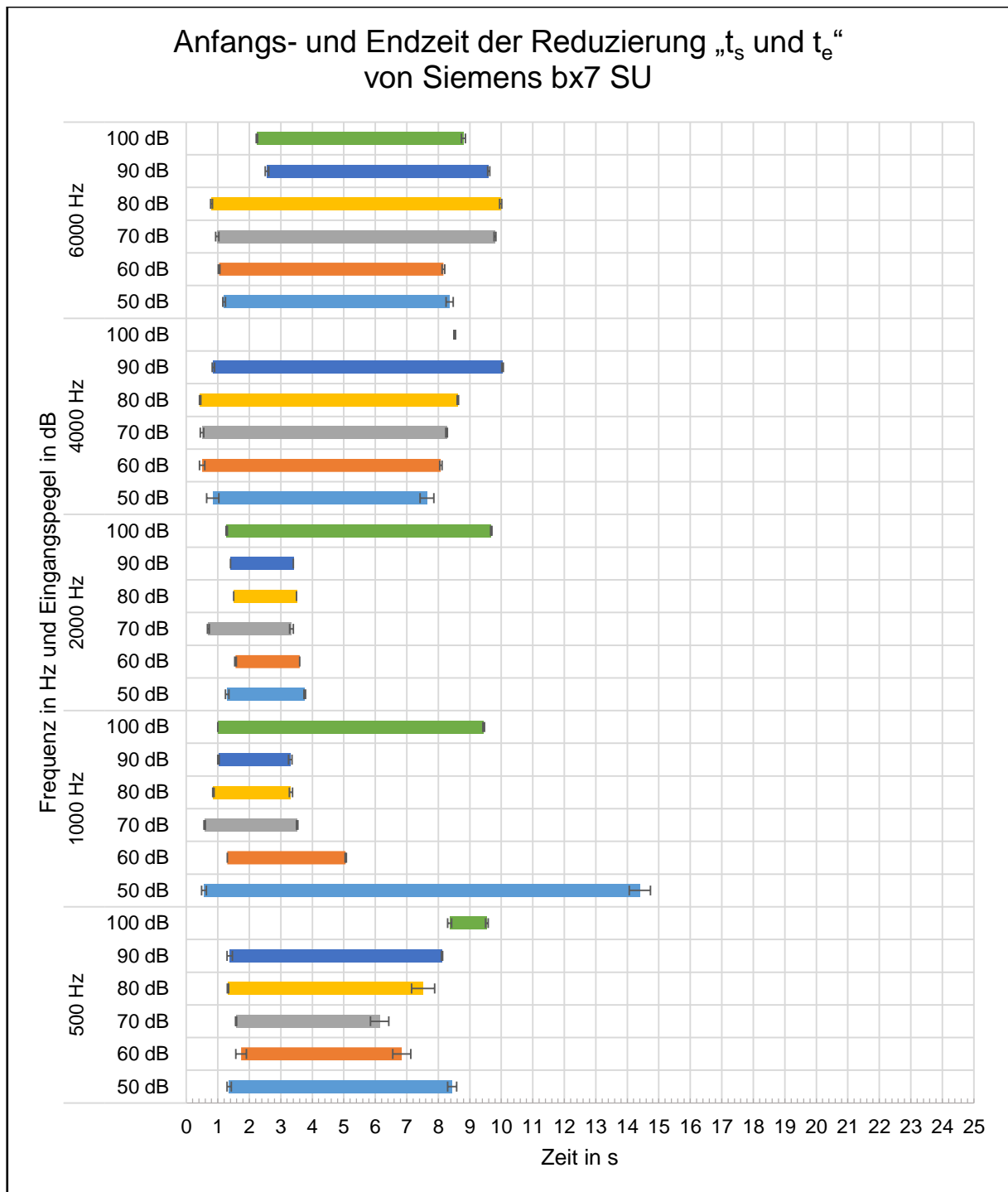


**Abbildung 51: Siemens bx7 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**

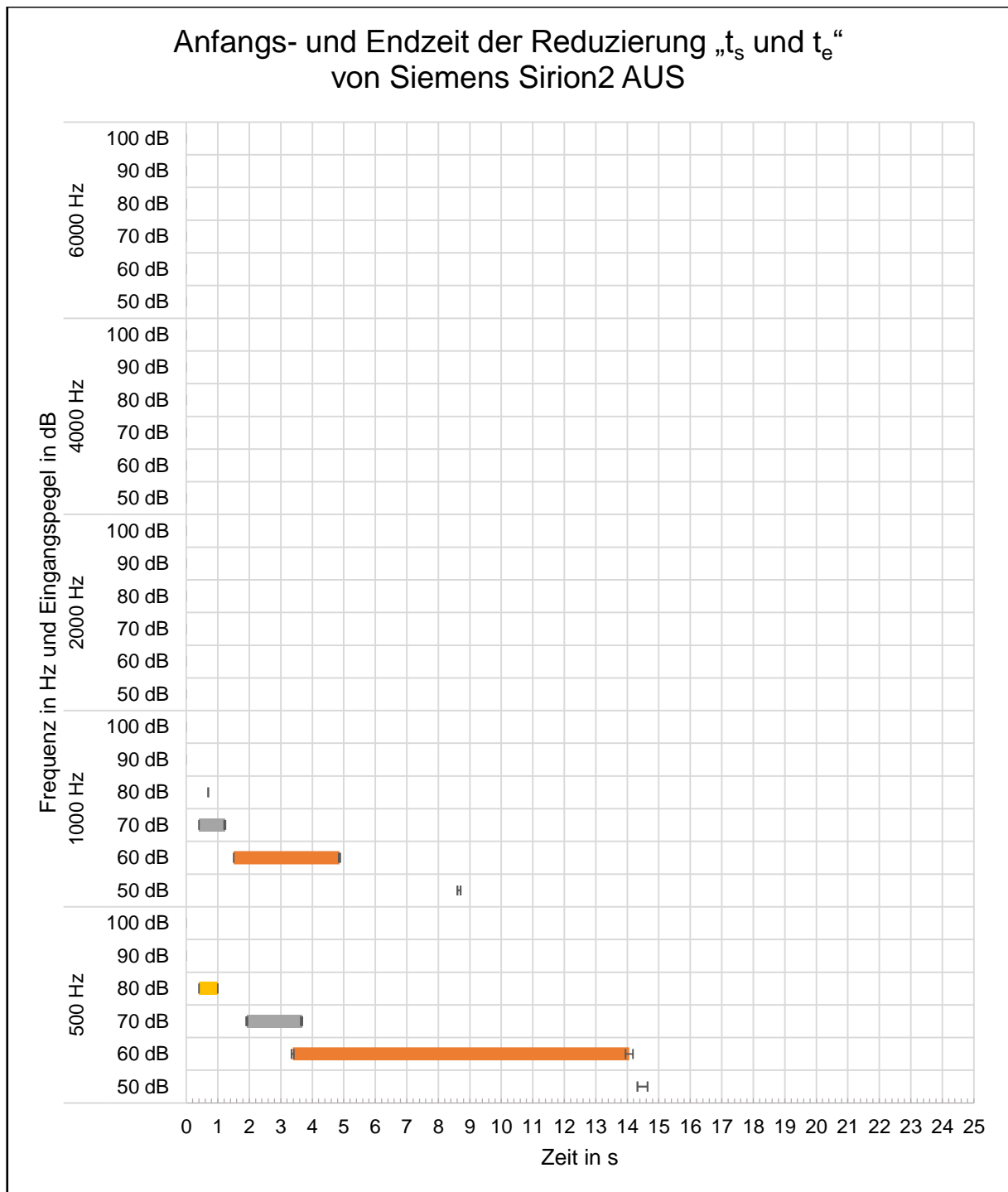




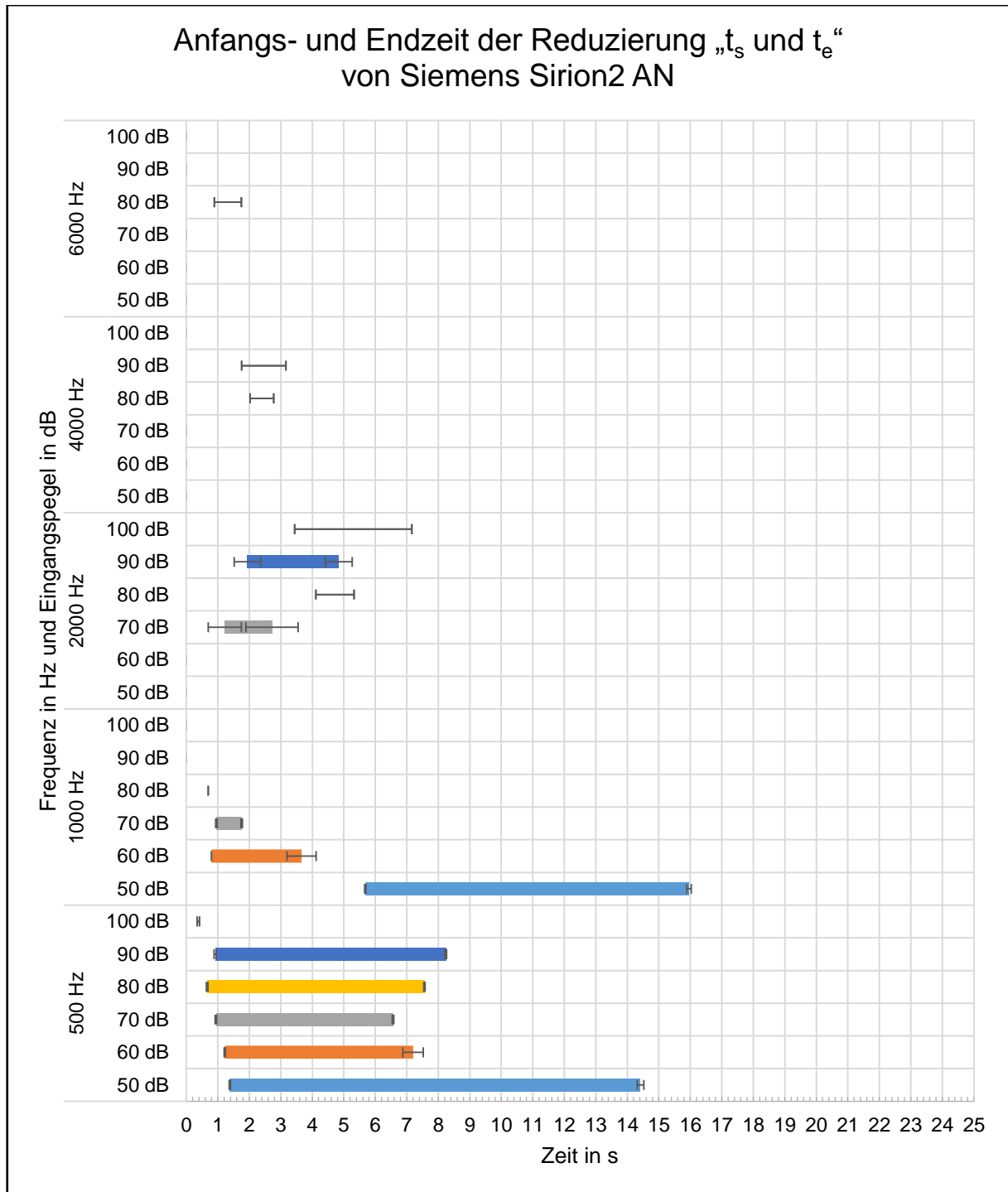
**Abbildung 52: Siemens bx7 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



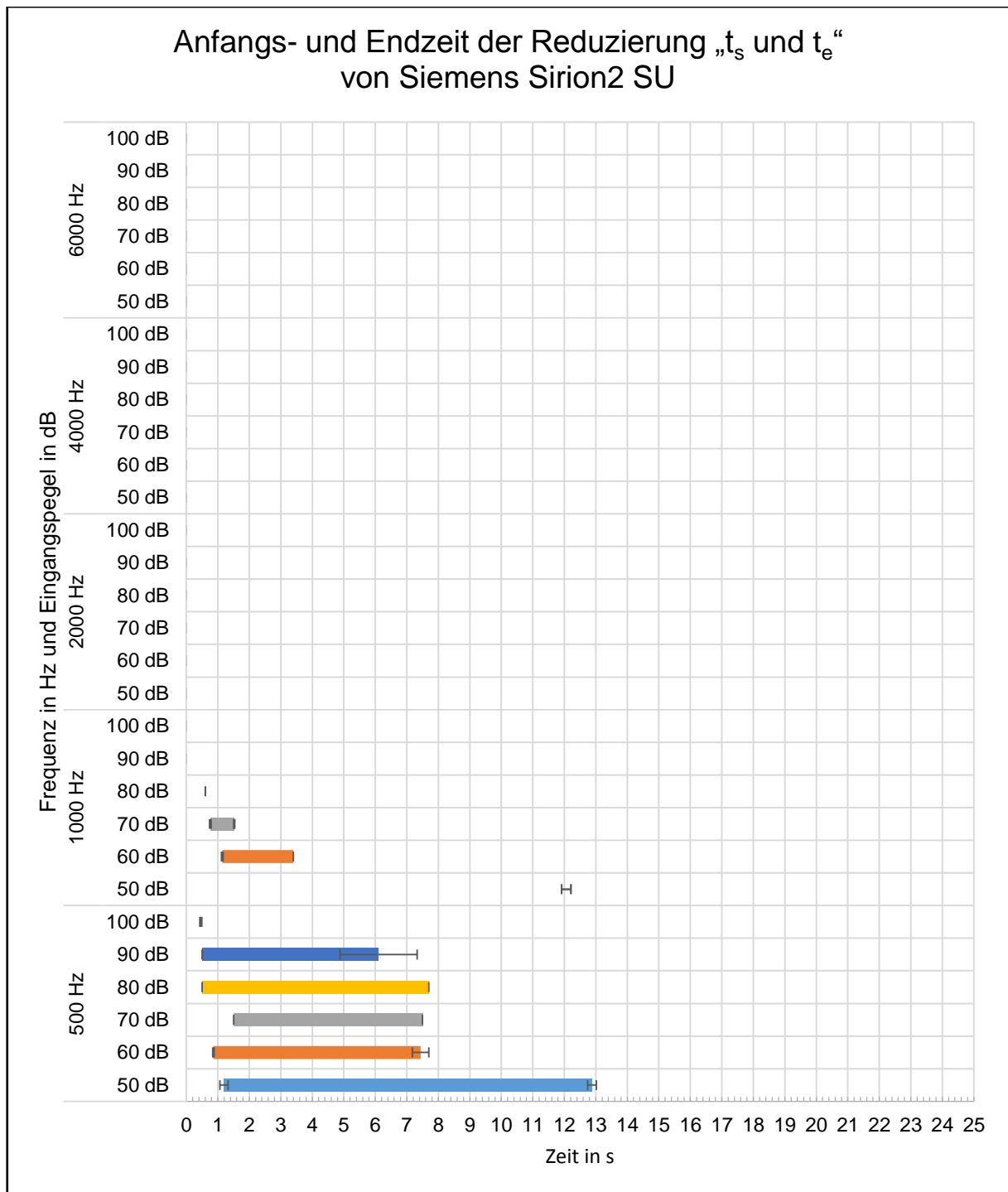
**Abbildung 53: Siemens bx7 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



**Abbildung 54: Siemens Sirion2 AUS: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



**Abbildung 55: Siemens Sirion2 AN: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**



**Abbildung 56: Siemens Sirion2 SU: Durchschnittlicher Anfangs- und Endzeit der Reduzierung „ $t_s$  und  $t_e$ “ (MW  $\pm$  Standardfehler von  $t_s$  und von  $t_e$ ,  $n=5$ ), Balkenlänge zeigt eine durchschnittliche Dauer zwischen  $t_s$  und  $t_e$ .**